

Федеральная служба
по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

ТРУДЫ
ГЛАВНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ
им. А.И. Воейкова

Выпуск

572

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

Санкт-Петербург
2014

Адрес: 194021, Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 7
Телефон: (812) 297-43-90
ФАКС: (812) 297-86-61
e-mail: 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)

В сборнике представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований по актуальным 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. Zatsev, 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.

© Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова»,
2014

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Е. Д. Надёжина, А. В. Стернзат, Р. С. Бортковский, А. А. Пикалева, Б. Н. Егоров, И. М. Школьник.</i> Модельные оценки потоков кислорода через поверхность Арктических морей | 7 |
| <i>Н. Е. Веремей, Ю. А. Довгалюк, Е. В. Дорофеев, А. А. Синькевич, К. Ф. Комаровских.</i> Численное моделирование влияния сажевого аэрозоля на эволюцию конвективного облака при сильном аэрозольном загрязнении атмосферы..... | 30 |
| <i>А. А. Успенский, Н. Ш. Вольберг, А. В. Степаков.</i> Усовершенствование фотометрического метода определения концентрации сажевого аэрозоля в атмосферном воздухе..... | 44 |
| <i>Е. Л. Махоткина, И. Н. Плахина.</i> Мониторинг прозрачности атмосферы: результаты измерений за последние десятилетия. (Обзор)..... | 57 |
| <i>Л. С. Ивлев, Л. А. Майборода.</i> О модели комплексного показателя преломления аэрозольного вещества..... | 89 |
| <i>О. А. Шиловцева.</i> Многолетние изменения естественной освещенности земной поверхности в Москве. | 100 |
| <i>Д. Н. Медведев, С. М. Персин.</i> Периферийные подсистемы метеорологических аэродромных и сетевых измерительно-информационных систем. | 123 |
| <i>Е. В. Дорофеев, М. В. Львова, И. Б. Попов, И. А. Тарабукин.</i> Применение критериев распознавания грозовых кучево-дождевых облаков в алгоритмах вторичной обработки радиолокационной информации, получаемой с помощью метеорадиолокаторов нового типа..... | 140 |
| <i>Е. В. Дорофеев, М. В. Львова, В. Б. Попов, И. А. Тарабукин.</i> Использование сопоставления метеорологических радиолокационных данных с целью относительной калибровки метеорологических радиолокаторов..... | 153 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>С. Г. Долгих, В. М. Шаймарданов.</i> Создание технологии управления данными в автоматизированной архивной системе..... | 162 |
| <i>Я. В. Дробжева, В. М. Краснов, Н. М. Салихов, В. И. Дробжев.</i> Особенности возмущений микровариаций давления, электрического поля во время Текелийского и Капчагайского землетрясений..... | 175 |
| <i>Н. М. Бызова.</i> Новые технологии подготовки кадров в сфере геополитических и экономических интересов России в Арктике..... | 190 |
| <i>К. Ш. Хайруллин.</i> Военная метеорология в Главной физической обсерватории до 1917 г..... | 205 |
| <i>Валентин Петрович Мелешко</i> | 212 |
| <i>Давид Львович Лайхтман</i> | 215 |

CONTENTS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>E. D. Nadyozhina, A. V. Sternzat, R. S. Bortkovski, A. A. Pikalyova, B. N. Egorov, I. M. Shkolnik.</i> Model estimates of the oxygen transfer through Arctic seas surface..... | 7 |
| <i>N. E. Veremey, Yu .A. Dovgaluk, E. V. Dorofeev, A. A. Sinkevich, K. F. Komarovskikh.</i> Numerical simulation of the impact of soot aerosol particles on Cu development at the conditions of high atmospheric pollution..... | 30 |
| <i>A.A. Uspensky, N. Sh. Volberg, A. V. Stepakov</i> Improvement of the photometric method for determining the concentration of soot aerosol in the atmosphere..... | 44 |
| <i>E. L. Makhotkina, I. N. Plakhina.</i> Monitoring of the atmospheric transparency: results of the measurements during last decades | 57 |
| <i>L. S. Ivlev, L. A. Mayboroda</i> Model of the complex refractive index of aerosol matter..... | 89 |
| <i>O. A. Shilovtseva.</i> A long-time variability of natural illuminance in Moscow | 100 |
| <i>D. N. Medvedev, S. M. Persin.</i> Peripheral subsystems of the automated airport and network weather observation systems..... | 123 |
| <i>E. V. Dorofeev, M. V. Lvova, I. B. Popov, I. A. Tarabukin.</i> Applying of thunderclouds discrimination criteria in algorithms of new type weather radar data processing..... | 140 |
| <i>E. V. Dorofeev, M. V. Lvova, V. B. Popov, I. A. Tarabukin.</i> Using the comparison of meteorological radar data for the relative calibration of weather radars | 153 |
| <i>S .G. Golgih, V. M Shaymardanov.</i> Creating a data management technology in automated archiving system..... | 162 |
| <i>Ya. V. Drobzheva, V. M. Krasnov, N. M. Salihov, V. I. Drobzhev.</i> The features of disturbances of pressure micro | |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| variations and electric field during Tekely and Kapchagai earthquakes..... | 175 |
| <i>N. M. Byzova.</i> New technology training in the geopolitical and economic interests of Russia in the Arctic..... | 190 |
| <i>K. Sh. Khairulin.</i> Military meteorology at the Main Physical Observatory before 1917..... | 205 |
| <i>Valentin P. Meleshko</i> | 212 |
| <i>David L. Layhtman</i> | 215 |

УДК 551.465.7, 539.186

МОДЕЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ ПОТОКОВ КИСЛОРОДА ЧЕРЕЗ ПОВЕРХНОСТЬ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

*Е. Д. Надёжина, А. В. Стернзат, Р. С. Бортковский,
А. А. Пикалева, Б. Н. Егоров, И. М. Школьник*

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

Поступила в редакцию 25.09.2014
Поступила после доработки 22.10.2014

Введение

Влияние климатических изменений на газообмен атмосферы с подстилающей поверхностью привлекает внимание научного сообщества в связи с тем, что прогнозируемые и наблюдаемые в настоящее время эффекты такого влияния оказываются весьма значительными. Содержание кислорода в морской воде определяет экологическое состояние изучаемого региона и одновременно является фактором воздействия на углеродный обмен. Баланс кислорода в приповерхностном слое воды складывается под влиянием биологических факторов, бокового адвективного газообмена, газообмена с нижележащими слоями и газообмена «океан-атмосфера». Оценки показывают, что во взаимодействии этих процессов существенную роль играет процесс газообмена между водной поверхностью и атмосферой (Manizza et al., 2012). Точность определения потоков кислорода через морскую поверхность в настоящее время остается низкой. Значительное число публикаций характеризует имеющиеся на сегодняшний день результаты по оценке кислородного обмена океаном и атмосферой (Бортковский, 2006; Najjar and Keeling, 2000; Manizza et al., 2012; Jin et al., 2007; Keeling et al., 2010). Следует отметить, что неопределенность полученных оценок как модельных, так и основанных на данных наблюдений,

слишком велика для количественной диагностики пространственных и временных распределений потоков кислорода.

Оценки климатических воздействий на потоки кислорода через морскую поверхность выполнялись ранее для акватории Баренцева моря и других Арктических морей (Бортковский и др., 2007; Бортковский и др., 2012; Olsen et al, 2002; Falck and Gade, 1999; McKinley et al., 2000). Ряд исследований был посвящен анализу пространственной и временной изменчивости потоков кислорода «океан-атмосфера» глобального масштаба (Najjar et al., 2000, Jin et al., 2007; Keeling et al, 2010; Schrum et al., 2005). Потоки кислорода рассчитывались также для морей восточного сектора Арктики (Сергиенко и др., 2010). В большинстве перечисленных работ оценки потоков выполнялись на основе параметризации влияния скорости ветра на газообмен с помощью соотношения, предложенного Ваннинкгофом (Wanninkhof et al., 2009) для коэффициента газообмена.

В работах Р. С. Бортковского с соавторами (2007; 2012) влияние скорости ветра на газоперенос рассчитывалось на основе модели газопереноса (МГП), подробно описанной в (Bortkovskii, 2002; Бортковский, 2003).

Настоящая статья посвящена анализу пространственных и временных закономерностей переноса кислорода через поверхность Баренцева и Карского морей, а также моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря. Последние три моря в некоторых публикациях называют срединными арктическими морями (САМ). Каждое из этих морей имеет специфические климатические черты и особенности, связанные со структурой шельфа, глубиной водоема, влиянием речного стока и т. п. При использовании в качестве входных параметров модели газопереноса расчетных климатических данных, полученных на основе глобальных климатических моделей (ГКМ) и региональной климатической модели (РКМ) ГГО, встроенной в ГКМ, (Школьник и др., 2000), делается предположение об адекватности воспроизведения специфики арктических морей моделями ГКМ и РКМ.

Оценка потоков между водой и воздухом над поверхностью арктических морей выполняется с помощью разработанной в ГГО модели газопереноса (Бортковский, 2006; Бортковский и др., 2012), в которой раздельно вычисляются диффузионные потоки газа и потоки, связанные с переносом газа пузырьками. При этом распределения температуры, солёности, коэффициентов турбулентного обмена и концентрации газа в воде получаются из решения системы уравнений термогидродинамики и газопереноса в перемешанном слое на переменной по глубине мелкой вертикальной сетке. Модель ранее применялась для оценки газопереноса через поверхность Баренцева моря (Бортковский и др., 2012). В настоящей работе оценки потоков кислорода через поверхность Баренцева и Карского морей, моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря выполняются с учетом особенностей распределения температуры поверхности, солёности и скорости ветра для каждого из этих морей. В схеме расчета учтены изменения глубины слоя перемешивания для каждого из перечисленных морей с использованием данных наблюдений Атласа «Климат морей России» (2004).

1. Исходные данные для оценки потоков кислорода. Сравнение климатических характеристик, полученных с помощью ГKM и РКМ

На основе базы метаданных, полученных по климатическим моделям CMIP5, были проанализированы пространственные распределения температуры и скорости ветра в разные месяцы года над акваторией окраинных морей Северного Ледовитого океана, примыкающих к территории России. Для анализа были выбраны 12 моделей, для которых в базе данных CMIP5 были представлены все необходимые для выполнения расчетов по модели газообмена характеристики (солёность, вертикальные профили температуры и др.). Выбранные модели представлены в табл. 1, в которой также указана их авторская принадлежность. В дальнейшем при упоминании модели указывается ее номер в таблице. При анализе модельных данных основное внимание обращалось на пространственные

распределения температуры и скорости ветра, от которых преимущественно зависит газообмен «вода-воздух» и которые должны изменяться, прежде всего, в условиях изменяющегося глобального климата. Анализ показал, что расчетные пространственные поля температуры поверхности, полученные по данным большинства использованных ГКМ, отражают наблюдаемые особенности региона неудовлетворительно. Это касается в первую очередь значительных погрешностей в оценке пространственного положения границы ледового покрова в западных и юго-западных районах Баренцева моря. В связи с этим модели 1—3, 5, 6, 9, 10, 12 были исключены из рассмотрения.

Таблица 1

Модели ансамбля CMIP5, использованные для анализа регионального климата акватории Баренцева моря

| № | Модель | Страна |
|----|-----------------------|--------------------|
| 1 | BCC-CSM1 | China |
| 2 | CAN-ESM2 | Canada |
| 3 | CMCC- CM5 | Italy |
| 4 | CNRM- CM5 | Toulouse France |
| 5 | CSIRO-MK3.6 | Australia |
| 6 | GFDL-ESM3 | Princeton |
| 7 | HADGEM2-es | UK |
| 8 | IMMCM4 | Moscow |
| 9 | IPSL-CM5a | Paris France |
| 10 | MIROC5 | Japan |
| 11 | MPI-ESM-LR (ECHAM) | Germany |
| 12 | MRI-GCM3 | Japan |

На рис. 1 и 2 показаны распределения температуры поверхности, солёности и скорости ветра в регионах Баренцева и Карского морей, а также морей Лаптевых и Восточно-Сибирского для января и августа, осредненные за период 1981—2000 гг.

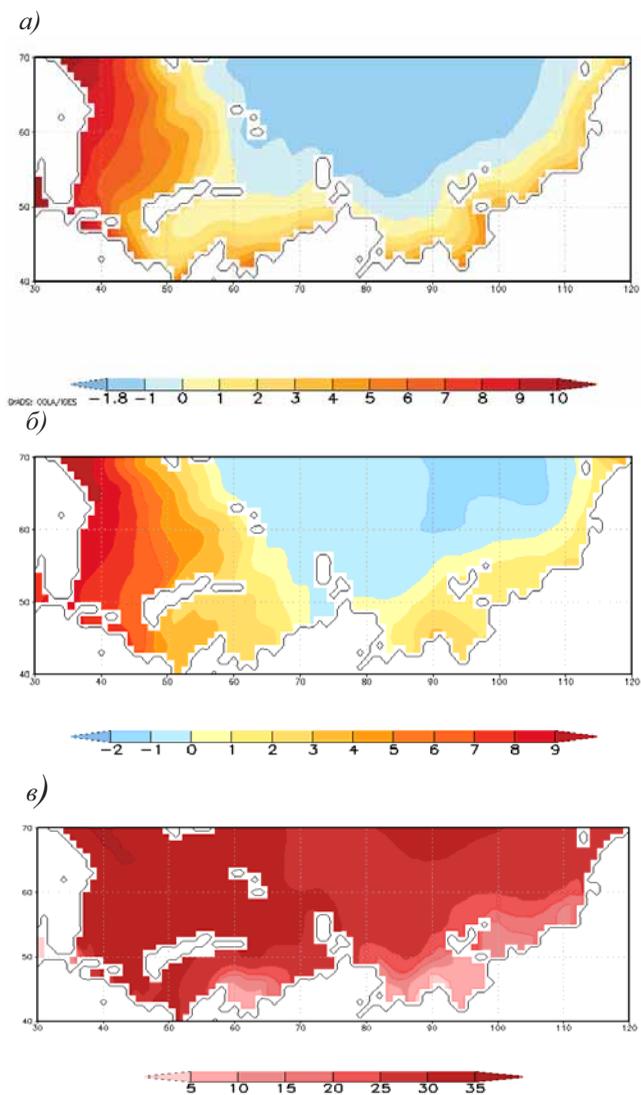


Рис. 1. Распределение температуры поверхности ($^{\circ}\text{C}$) арктических морей России, осредненной за период 1981—2000 гг. (август)
 а) – осреднение по данным ГКМ №№ 7, 8, 11; б) – данные реанализа, использованные при реализации РКМ; в) – распределение солёности по данным ГКМ

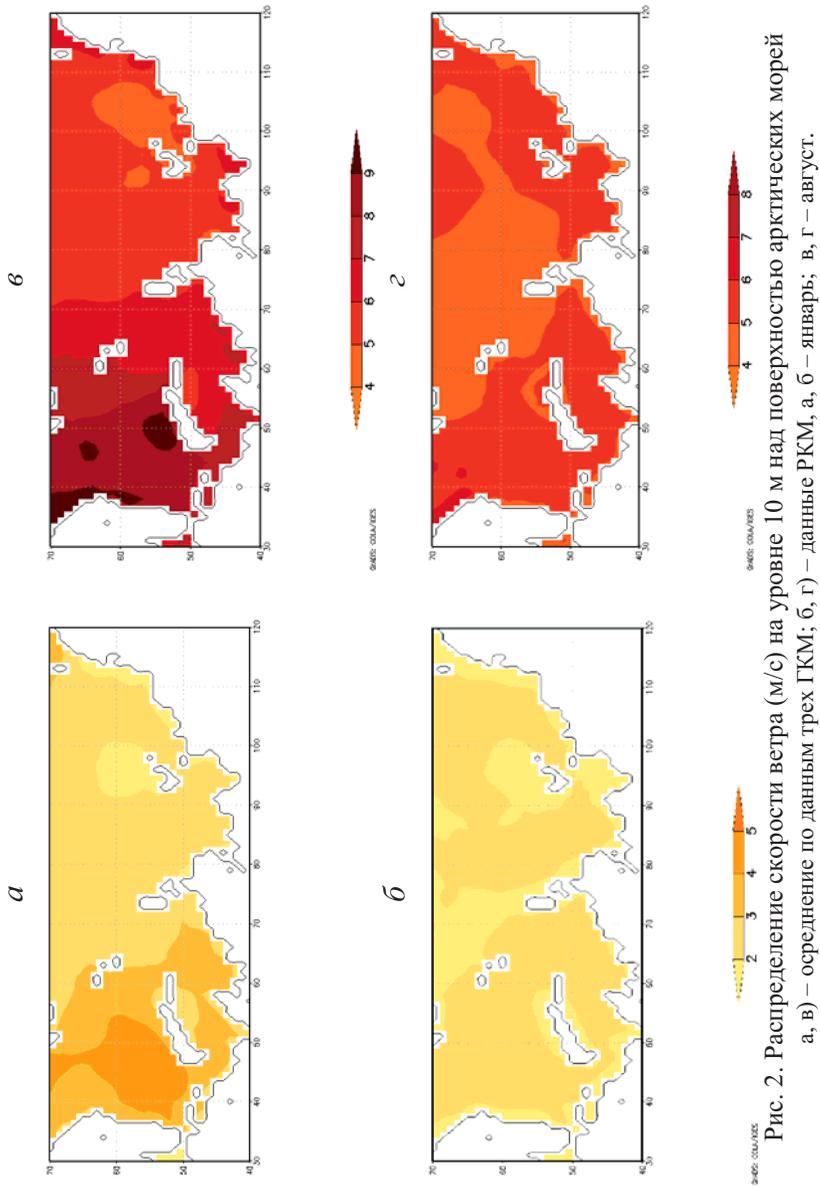


Рис. 2. Распределение скорости ветра (м/с) на уровне 10 м над поверхностью арктических морей
 а, в) – осреднение по данным трех ГКМ; б, г) – данные РКМ; а, б – январь; в, г – август.

Указанный период принято считать базовым при описании климата конца прошлого столетия. Для иллюстрации выбраны характерные месяцы теплого и холодного сезонов. Пример распределения температуры и солености приведен для августа, поскольку в зимнее время поверхность всех арктических морей, за исключением Баренцева, покрыта льдом, поток кислорода через который мал. Приведенные на рисунках данные получены по результатам расчетов ГKM и РКМ и демонстрируют различия в климатическом воздействии на океан моделями разного разрешения. Распределение скорости ветра на уровне 10 м над поверхностью представлено для января и для августа. Рис. 1а и 2а, в соответствии с осредненными данными трех моделей ансамбля СМIP5 (модели 7, 8, 11). На рис. 1б показано распределение температуры над вышеуказанными акваториями, полученное по данным реанализа и использованное в численных экспериментах на основе РКМ при расчете динамических характеристик над морями. Температуры, осредненные по трем (7, 8, 11) и по четырем (4, 7, 8, 11) моделям, различаются незначительно. Рис. 1в иллюстрирует распределение солености на поверхности указанных морей для августа, поскольку именно в этом месяце наиболее заметно проявляются пространственные различия в распределениях солености для каждого из морей. Влияние речного стока проявляется на больших расстояниях от берега во всех морях за исключением Баренцева моря и создает обширные пространства с очень малой соленостью (порядка 4—5 ‰ в прибрежных районах).

Анализ рис. 2а, 2в показывает, что все модели ансамбля СМIP5 занижают скорости ветра над акваторией Баренцева моря относительно данных реанализа и данных наблюдений как в зимний, так и в летний сезон. Аналогично тому, как это было сделано при осреднении данных о температуре, для осредненных скоростей ветра была проанализирована комбинация моделей, в которой из модельного ансамбля исключена модель 4, демонстрирующая нереалистично низкие скорости ветра в Баренцевом море. Пространственные распределения скорости ветра, полученные по моделям СМIP5 и по РКМ, как видно из рис. 2, в январе и в августе

различаются. В частности, анализ показывает, что область скоростей ветра, превышающих 8 м/с, по данным РКМ в январе располагается над акваторией Баренцева моря. Качественно распределения скорости ветра, полученные по данным СМIP5, согласуются с результатами расчетов РКМ, однако средние скорости в ансамбле ГКМ не превышают 5 м/с. В летнее время качественное подобие между распределениями скорости ветра, полученными по РКМ и СМIP5, сохраняется, однако летом скорости ветра меньше, чем зимой. Отметим, что особенности пространственной изменчивости ветра по оценкам РКМ и данным реанализа несколько различаются, однако количественно РКМ дает заметно лучшую согласованность с реанализом по сравнению с моделями СМIP5.

Таблица 2 характеризует количественные различия расчетных модулей скорости ветра и функцию их распределения над акваторией исследуемых морей в течение года. В этой же таблице для сравнения приведены характеристики полей скорости, полученные по данным спутниковых наблюдений в 2008 и 2009 гг. и по данным реанализа. Очевидно, что наиболее реалистичные значения скоростей получаются по данным РКМ. По данным реанализа нижняя квартиль распределения скорости ветра по акватории равна 7,6 м/с, по данным РКМ — 7,7 м/с, по оценкам моделей СМIP5 — 3,4 м/с, по данным наблюдений — 5,9 м/с. Что касается верхней квартили, то четверть скоростей ветра, полученных по наблюдениям в 2008—2009 гг., превышает 12,9 м/с. По данным реанализа четверть скоростей за период 1981—2000 гг. превышает 9,3 м/с, а по данным РКМ — 8,8 м/с. Аналогичное занижение средних скоростей и искажение распределений скорости относительно наблюдаемых отмечается для Карского моря и для моря Лаптевых. РКМ ГГО обеспечивает наименьшие отличия от данных реанализа в средних скоростях ветра над акваторией арктических морей. Заметим, что качество расчета ветровых характеристик оказывает существенное влияние на расчетные значения потоков газа между океаном и атмосферой.

Скорость ветра (м/с) над акваторией арктических морей

| Месяц | РКМ | | Модель И1 | | Среднее из 3-х моделей | | Наблюдения | | Реанализ ERA 40 | | | | |
|-----------------------|-----|-----|-----------|-----|------------------------|-----|------------|-----|-----------------|-----|-----|-----|-----|
| | Q1 | Q2 | Q1 | Q2 | Q1 | Q2 | Q1 | Q2 | Q1 | Q2 | | | |
| | Ме | Ме | Ме | Ме | Ме | Ме | Ме | Ме | Ме | Ме | | | |
| <i>Баренцево море</i> | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 7,7 | 8,5 | 3,6 | 4,1 | 4,6 | 3,4 | 3,8 | 4,1 | 5,9 | 9,6 | 7,6 | 8,6 | 9,3 |
| 2 | 7,3 | 8,2 | 3,8 | 4,3 | 4,6 | 3,4 | 4,0 | 4,4 | 4,9 | 8,9 | 6,9 | 8,3 | 9,1 |
| 3 | 7,0 | 7,7 | 2,8 | 3,4 | 3,9 | 2,7 | 2,1 | 2,5 | 5,2 | 8,1 | 6,4 | 7,6 | 8,6 |
| 4 | 6,0 | 6,7 | 2,2 | 2,5 | 2,8 | 2,3 | 2,7 | 3,0 | 5,2 | 8,2 | 5,4 | 6,1 | 6,8 |
| 5 | 5,1 | 5,5 | 2,0 | 2,1 | 2,3 | 2,0 | 2,2 | 2,3 | 4,1 | 6,3 | 5,5 | 6,2 | 6,5 |
| 6 | 4,6 | 5,0 | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 2,0 | 2,2 | 2,3 | 3,1 | 5,6 | 5,3 | 5,8 | 6,2 |
| 7 | 4,9 | 5,3 | 2,0 | 2,3 | 2,5 | 2,1 | 2,3 | 2,4 | 3,2 | 5,3 | 4,6 | 5,2 | 5,6 |
| 8 | 5,0 | 5,2 | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 2,0 | 2,2 | 2,3 | 3,5 | 5,7 | 4,7 | 5,1 | 5,4 |
| 9 | 5,8 | 6,0 | 2,1 | 2,5 | 2,7 | 2,2 | 2,5 | 2,6 | 4,7 | 6,9 | 4,9 | 5,6 | 6,4 |
| 10 | 7,1 | 7,4 | 2,5 | 2,9 | 3,3 | 2,5 | 2,8 | 2,9 | 5,5 | 7,9 | 7,2 | 7,7 | 8,0 |
| 11 | 7,4 | 7,8 | 2,8 | 3,2 | 3,8 | 2,8 | 2,9 | 3,2 | 5,2 | 8,1 | 6,6 | 7,2 | 7,6 |
| 12 | 7,6 | 8,3 | 3,4 | 3,7 | 4,0 | 3,2 | 3,6 | 3,7 | 5,2 | 8,4 | 7,0 | 8,0 | 8,7 |
| <i>Карское море</i> | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 6,0 | 6,4 | 2,2 | 2,6 | 2,7 | 2,5 | 3,0 | 3,1 | 1,3 | 3,1 | 7,8 | 8,5 | 9,2 |
| 2 | 5,8 | 6,2 | 2,6 | 3,0 | 3,3 | 2,4 | 2,9 | 3,0 | 1,3 | 2,4 | 5,3 | 6,1 | 7,1 |
| 3 | 5,4 | 5,7 | 2,2 | 2,6 | 2,7 | 2,2 | 2,5 | 2,6 | 1,4 | 2,2 | 4,9 | 5,5 | 5,8 |
| 4 | 5,2 | 5,5 | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 2,1 | 2,3 | 2,4 | 1,3 | 1,8 | 3,3 | 5,0 | 5,8 |
| 5 | 4,7 | 5,0 | 2,2 | 2,4 | 2,5 | 2,1 | 2,3 | 2,4 | 1,3 | 1,7 | 4,7 | 5,1 | 5,5 |
| 6 | 4,3 | 4,6 | 2,1 | 2,4 | 2,9 | 2,2 | 2,5 | 2,8 | 1,3 | 1,9 | 4,9 | 5,3 | 5,5 |

| Месяц | Q1 | Ме | Q2 |
|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <i>Карское море (продолжение)</i> | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 4,4 | 4,8 | 5,3 | 2,2 | 2,6 | 3,0 | 2,1 | 2,4 | 2,7 | 1,7 | 3,9 | 5,8 | 4,7 | 5,2 | 5,4 |
| 8 | 4,6 | 5,1 | 5,4 | 1,9 | 2,1 | 2,4 | 1,9 | 2,2 | 2,3 | 3,0 | 5,1 | 7,2 | 4,1 | 4,5 | 4,7 |
| 9 | 5,0 | 5,3 | 5,4 | 1,8 | 2,1 | 2,3 | 1,9 | 2,2 | 2,3 | 4,7 | 6,8 | 8,9 | 5,0 | 5,5 | 5,8 |
| 10 | 5,8 | 6,1 | 6,4 | 2,1 | 2,4 | 2,7 | 2,1 | 2,4 | 2,5 | 4,8 | 7,3 | 9,7 | 5,4 | 6,6 | 7,3 |
| 11 | 5,5 | 5,2 | 6,5 | 2,2 | 2,8 | 3,0 | 2,2 | 2,6 | 2,8 | 2,5 | 6,9 | 9,7 | 6,5 | 7,2 | 7,8 |
| 12 | 6,0 | 6,4 | 6,6 | 1,9 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,6 | 2,8 | 1,3 | 4,5 | 8,9 | 5,8 | 6,3 | 6,9 |
| <i>Море Лаптевых</i> | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 5,1 | 5,2 | 5,5 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,2 | 2,4 | 2,4 | — | — | — | 6,9 | 7,1 | 7,3 |
| 2 | 5,3 | 5,4 | 5,5 | 2,3 | 2,5 | 2,6 | 2,4 | 2,5 | 2,5 | — | — | — | 5,3 | 5,7 | 6,1 |
| 3 | 4,9 | 5,0 | 5,1 | 2,2 | 2,4 | 2,5 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | — | — | — | 5,4 | 6,1 | 6,4 |
| 4 | 4,7 | 5,1 | 5,3 | 1,9 | 2,2 | 2,4 | 2,1 | 2,4 | 2,5 | — | — | — | 5,0 | 5,6 | 6,3 |
| 5 | 4,7 | 4,8 | 4,9 | 2,5 | 2,7 | 3,0 | 2,6 | 2,7 | 2,8 | — | — | — | 5,4 | 5,8 | 6,0 |
| 6 | 4,5 | 4,6 | 4,7 | 2,3 | 2,4 | 2,6 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | — | — | — | 5,0 | 5,3 | 5,7 |
| 7 | 4,5 | 4,8 | 5,1 | 1,8 | 2,1 | 2,5 | 2,0 | 2,1 | 2,4 | — | — | — | 5,6 | 5,8 | 5,8 |
| 8 | 4,8 | 5,2 | 5,4 | 2,0 | 2,0 | 2,2 | 1,9 | 2,0 | 2,1 | — | — | — | 5,3 | 5,8 | 6,0 |
| 9 | 5,2 | 5,5 | 5,7 | 2,0 | 2,2 | 2,3 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | — | — | — | 4,8 | 5,2 | 5,6 |
| 10 | 5,4 | 5,5 | 5,6 | 1,9 | 2,1 | 2,3 | 2,2 | 2,2 | 2,3 | — | — | — | 4,7 | 5,2 | 5,7 |
| 11 | 5,2 | 5,2 | 5,3 | 2,1 | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | — | — | — | 6,0 | 6,3 | 6,5 |
| 12 | 5,4 | 5,5 | 5,7 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,2 | 2,4 | 2,4 | — | — | — | 5,6 | 5,9 | 6,1 |

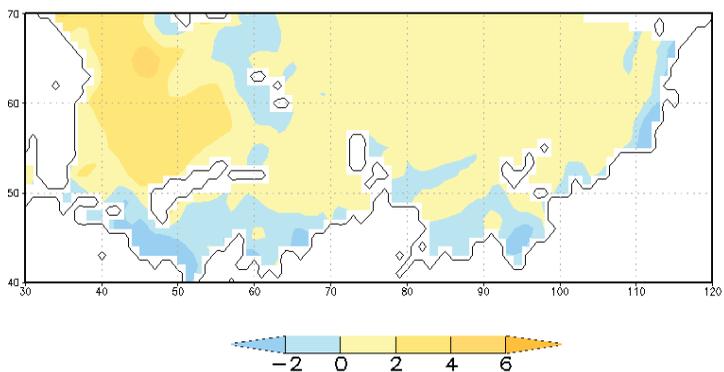
Используемая в настоящей работе модель газообмена позволяет оценить распределение потоков явного тепла через поверхность раздела вода—воздух и проанализировать связь между потоками кислорода и потоками тепла.

2. Пространственная изменчивость потоков явного тепла и кислорода

Анализ годового хода и пространственной изменчивости потоков кислорода между атмосферой и водной поверхностью океанов и окраинных морей является необходимым этапом исследований. Отметим, что в целом ряде работ (Najjar and Keeling, 2000; Jin et al., 2007) отмечается связь между потоками кислорода через поверхность раздела и потоками явного тепла через нее. Между тем, если определять поток кислорода с использованием перепада концентраций, полученных экспериментальным путем, то в этом потоке не удастся выделить составляющую, обусловленную влиянием биологических факторов в теплое время года. При рассмотрении процессов газообмена глобального масштаба предлагаются параметризации, позволяющие определить зависящую от температуры поверхности составляющую потока кислорода через функцию растворимости кислорода в воде на основе информации о распределении потока тепла (Dietze and Oschlies, 2005; Galen et al., 2003; Najjar and Keeling, 2000).

В рассматриваемой модели независимое определение потоков явного тепла и потоков кислорода позволяет проанализировать степень надежности указанных параметризаций. Вместе с тем исследование баланса тепла арктических морей является важной самостоятельной задачей (Sandø et al., 2010). Рассмотрим пространственное распределение потоков явного тепла через поверхность арктических морей в летнее время. Пример такого распределения в августе приведен на рис. 3 для случаев использования входных данных, полученных по моделям ансамбля СМIP5 (рис. 3а) и РКМ (рис. 3б).

а)



б)

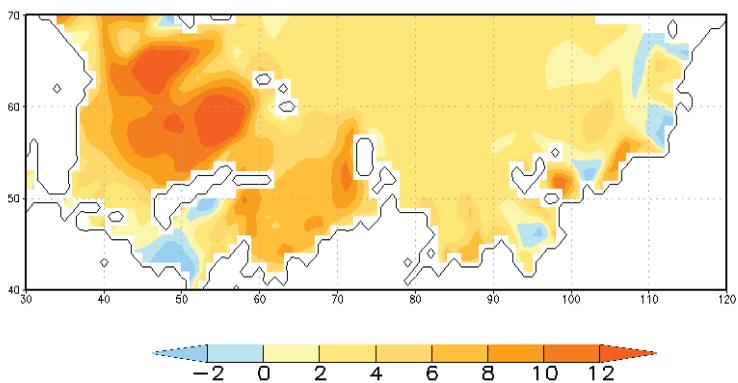


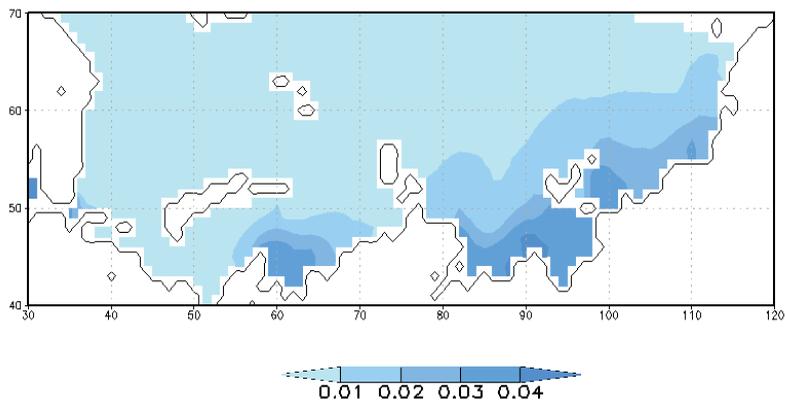
Рис. 3. Распределение явных потоков тепла ($\text{Вт}/\text{м}^2$) через поверхность арктических морей

а) — осреднение по данным трех ГКМ, б) — данные РКМ.

Рис. 4 иллюстрирует влияние входных климатических данных на распределение потоков кислорода через поверхность арктических морей в августе. На рис. 4 приведены суммарные значения

диффузионного потока и потока, создаваемого переносом газа пузырьками.

а)



б)

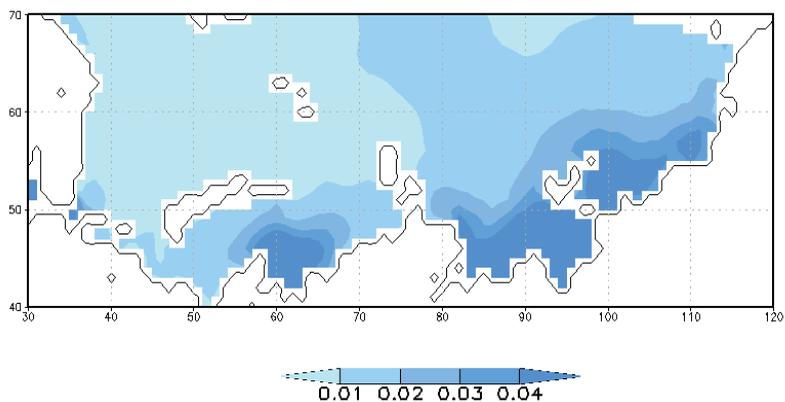


Рис. 4. Распределение потоков кислорода ($\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{мес}^{-1}$)
через поверхность арктических морей

а) — среднение по данным трех ГКМ, б) — данные РКМ.

Положительным принимается поток, направленный с поверхности моря в атмосферу. Очевидным является влияние выбора климатического воздействия (это преимущественно скорость ветра) на

величину потоков явного тепла. Особенно существенным это влияние оказывается над акваториями Баренцева и Карского морей, где расчетные значения потоков, полученные на основе РКМ, на отдельных участках более чем в 2 раза превышают значения потоков, полученные на основе данных глобальных моделей.

Положительным принимается направление потока вглубь водоема. Как видно из рисунка, в прибрежной зоне всех исследуемых морей происходит наиболее существенное поглощение кислорода, тогда как в центральных районах акватории поглощение уменьшается в 3—4 раза по сравнению с прибрежными районами.

Таблица 3

Месячные суммы плотности потоков кислорода через поверхность срединных арктических морей (САМ) и поверхность Баренцева моря (БМ) в разные месяцы года и суммарный поток O_2 за год через поверхность, свободную ото льда

| Месяц | САМ | | БМ | | <i>Northern North Atlantic</i> ¹ | <i>Gimsoy -NW</i> ² | <i>Bjornoya -W</i> ² |
|-------|---------------|-------|---------------------|-------|---------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| | Моль m^{-2} | Тмоль | Моль $\cdot m^{-2}$ | Тмоль | Тмоль | Моль $\cdot m^{-2}$ | |
| I | 0 | 0 | 1,18 | 0,86 | | | |
| II | 0 | 0 | 1,28 | 0,78 | | | |
| III | 0 | 0 | 0,95 | 0,60 | | | |
| IV | 0 | 0 | 0,64 | 0,44 | | | |
| V | 0,19 | 0,01 | 0,28 | 0,29 | | | |
| VI | 0,46 | 1,61 | 0,17 | 0,26 | | | |
| VII | 0,55 | 1,92 | 0,20 | 0,31 | | | |
| VIII | 0,62 | 2,16 | 0,24 | 0,37 | | | |
| IX | 0,96 | 1,55 | 0,40 | 0,50 | | | |
| X | 0,67 | 0,24 | 0,84 | 0,96 | | | |
| XI | 0,66 | 0,05 | 1,00 | 0,98 | | | |
| XII | 0 | 0 | 1,23 | 1,10 | | | |
| Год | 4,11 | 7,54 | 8,41 | 7,45 | 10,4 | 3,4±0,4 | 4,9±0,5 |

Примечание.

¹ – по данным работы Gruber et al., 2001;

² – по данным работы Skjelvan et al., 2001.

Возможно это объясняется влиянием малой солености и соответствующим изменением вертикальной стратификации приповерхностных слоев. Корреляция между потоками тепла и потоками кислорода в летнее время оказывается близкой нулю.

Поглощение кислорода в море Лаптевых и Восточно-Сибирском море в летнее время значительно больше, чем в Баренцевом и Карском морях. Плотность потока O_2 через поверхность Баренцева моря с мая по сентябрь меньше, чем средняя плотность потока через поверхность срединных арктических морей (табл. 3) в 1,5—2,5 раза. Однако наличие льда большой толщины зимой затрудняет газообмен и поэтому годовые потоки газа через поверхность САМ и БМ оказываются сравнимыми.

В таблице 3 приведены также среднегодовая плотность потока, полученная в работе (Skjelvan et al., 2001) для двух разрезов в области Норвежского Атлантического течения, и суммарный поток кислорода с площади 10^{13} м^2 , полученный для региона Северной Атлантики в работе (Gruber et al., 2001). Количественное сравнение потоков можно рассматривать лишь как предварительное, поскольку сравниваются данные, полученные для разных регионов, однако аналогия количественных оценок является очевидной.

3. Сравнение расчетных потоков явного тепла и кислорода с опубликованными результатами, основанными на модельных и экспериментальных данных

Проведем сравнительный анализ потоков кислорода, полученных для географически близких областей, на основе данных моделей и наблюдений. Сравнение потоков тепла и кислорода, полученных разными методами с использованием разных моделей климата и газообмена, представляет значительный интерес. Большинство опубликованных данных относится либо к процессам глобального масштаба, либо к акватории Баренцева моря и прилегающих к нему районов океана.

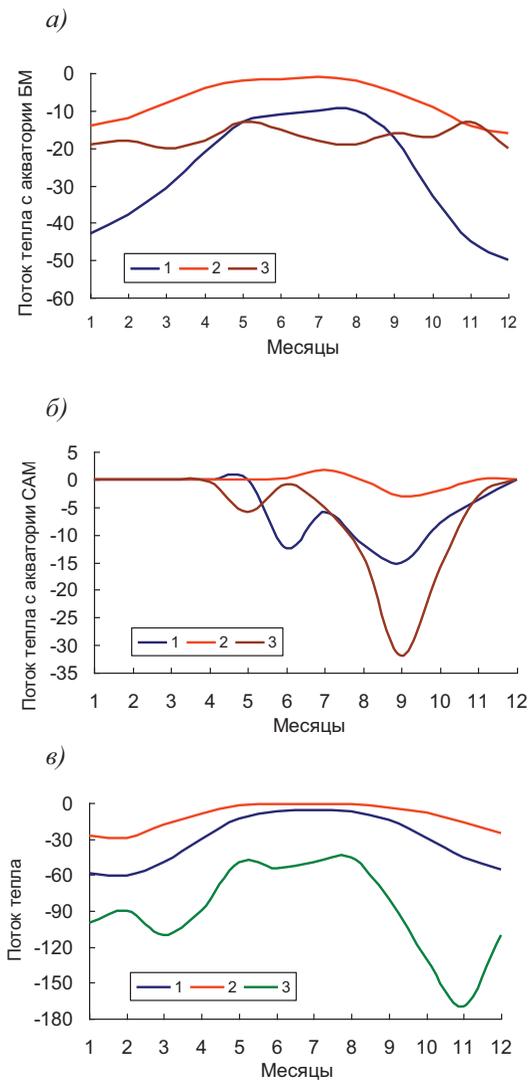


Рис. 5. Годовой ход потоков тепла с акваторий Баренцева моря (а, в) и срединных арктических морей (б).
 а), б) 1 — РКМ, 2 — осреднение по данным трех ГКМ, 3 — по данным (Zhang and Zhang, 2001)
 в) 1 — РКМ, 2 — осреднение по данным трех ГКМ, 3 — по данным (Smedsrud et al., 2010).

На рис. 5 показаны внутригодовые изменения явного потока тепла, проинтегрированного по акватории БМ и по акваториям САМ.

В работе (Zhang and Zhang, 2001) потоки кислорода через поверхность САМ и БМ в силу специфики последнего рассматриваются по отдельности, что позволяет сравнить их с нашими результатами. Для удобства сравнения поток тепла, направленный из океана в атмосферу, как и в работе (Zhang and Zhang, 2001), считается отрицательным.

Из рис. 5а видно, что в отличие от результата, полученного в (Zhang and Zhang, 2001) потоки тепла, рассчитанные по РКМ ГГО, имеют большую амплитуду годового хода.

Сезонные различия в потоках тепла, полученные на основе данных РКМ, проявляются более заметно за счет сезонных изменений скорости ветра. Потоки тепла в летнее время, полученные на основе данных РКМ, близки к расчетным значениям из работы (Zhang and Zhang, 2001), в зимнее время последние являются промежуточными между оценками, полученными по результатам расчетов РКМ и моделей СМIP5. На рис. 5б приводится годовой ход суммарного потока тепла с акватории САМ. Для этой акватории в отличие от акватории БМ по данным работы (Zhang and Zhang, 2001) изменения явного потока тепла в годовом ходе выражены более заметно, чем соответствующие модельные изменения. Как модельные, так и полученные на основе экспериментальных данных о температуре воды кривые годового потоков тепла для БМ и акватории САМ заметно различаются. На рис. 5в для сравнения приведен годовой ход плотности потока тепла для БМ (кривая 3) из работы (Smedsrud et al., 2010). Потоки тепла, рассчитанные в указанной работе с помощью 3-мерной модели БМ, существенно превышают потоки, рассчитанные с помощью использованной в настоящей работе модели газопереноса со входными данными РКМ.

Отметим, что акватория САМ покрыта слоем льда большую часть года, и при наличии льда любой толщины теплообмен принимается равным нулю. В теплое время года месячные потоки тепла с

акватории САМ приблизительно в 2—2,5 раза больше, чем с акватории БМ.

Дефицит исходной информации затрудняет оценки годовых и сезонных изменений потоков кислорода через поверхность раздела вода—воздух в Арктических морях. Для сравнения модельных потоков кислорода, вычисленных разными методами, могут быть использованы результаты, приведенные в работе (Skjelvan et al., 2001) для двух разрезов в области Норвежского Атлантического течения (от 67,58° с. ш.; 98° в. д. до 71,58° с. ш. 18° в. д. и вдоль 74,58° с. ш. от 7° до 158° в. д.). Сравнение расчетных потоков кислорода выполнялось для акватории БМ, центральные районы которой расположены приблизительно в тех же широтах и характеризуются интенсивным водообменом с Атлантикой. Результат сравнения данных из работы (Skjelvan et al., 2001), с оценками, полученными в данной работе, показан на рис. 6.

Существенные различия потоков кислорода в летнее время могут быть объяснены тем, что в используемой модели не учтены внутригодовые изменения потоков, обусловленные биогенными факторами. Сток кислорода из атмосферы наблюдается преимущественно в осеннее и зимнее время, количественные значения потоков кислорода, рассчитанные на основе данных РКМ, в зимнее время несколько меньше значений, приведенных в работе (Skjelvan et al., 2001), однако степень согласованности потоков, полученных разными методами, для этого времени года можно признать удовлетворительным. Потоки, рассчитанные на основе ГКМ, близки к нулю в течение всего года. В работе (Skjelvan et al., 2001) потоки кислорода через поверхность оценивались через коэффициент обмена и перепад концентраций кислорода при переходе границы раздела вода—воздух. Можно предположить, что потоки кислорода между океаном и атмосферой, полученные в упомянутом исследовании, отражают суммарный эффект биогенных и чисто физических факторов.

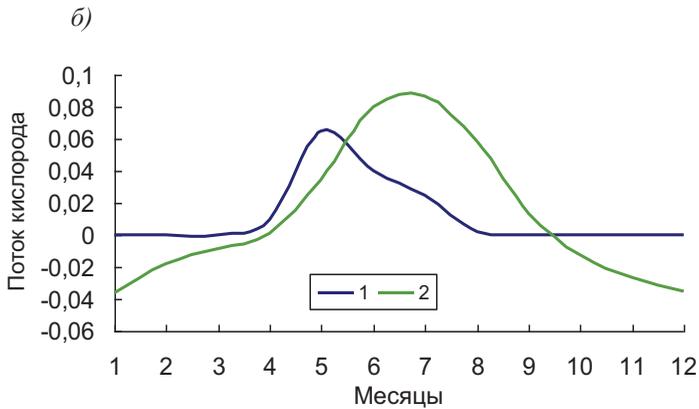
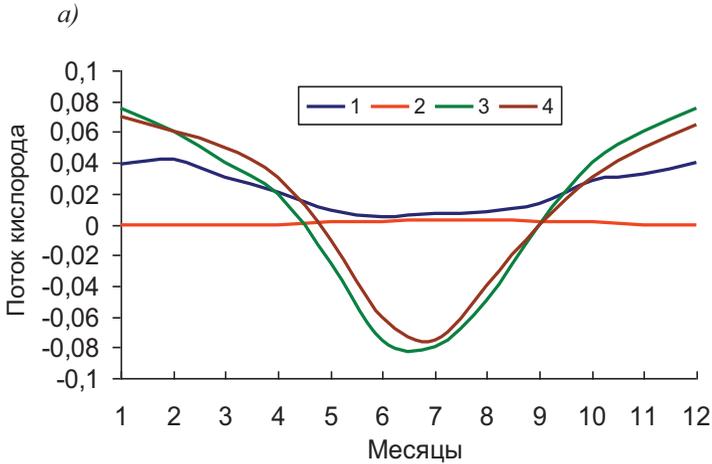


Рис. 6. Годовые изменения потоков кислорода через поверхность вода—воздух для акватории Баренцева моря:

- а) сравнение с результатами, полученными в работе (Skjelvan et al., 2001)
 1 — РКМ, 2 — осреднение по данным трех ГКМ, 3 — (Skjelvan et al., 2001) (Gimsoy-NW), 4 — (Skjelvan et al., 2001) (Bjornoya-W).
- б) 1 — биологический поток кислорода в приповерхностном слое, вычисленный на основе наблюдений (Skjelvan et al., 2001),
 2 — биогенная добавка к потоку O_2 через поверхность раздела вода—воздух.

Полный поток газа создается как за счет перенасыщенных значений концентрации на поверхности в течение продуктивного периода, так и за счет перепада насыщающих значений концентрации на поверхности и концентрации кислорода в воздухе. Поток за счет перепада насыщающих значений рассчитывается нашей моделью независимо.

Если найти разность потоков кислорода, полученных в нашей модели и в работе (Skjelvan et al., 2001), то, пренебрегая различиями в коэффициентах переноса и погрешностями расчетных методов, можно получить биогенную добавку к потоку кислорода в разные месяцы продуктивного периода года. На рис. 6б показаны величины этой добавки (F_b) в сравнении с биологическим потоком кислорода в приповерхностном слое, полученном в (Skjelvan et al., 2001), на основе измерений концентрации фосфатов в морской воде.

Временной сдвиг экстремума на кривой 2 относительно положения экстремума на кривой 1 может быть объяснен запаздыванием максимального потока кислорода по отношению к максимуму содержания кислорода в воде.

Полученный результат требует дополнительного тестирования в других районах Арктических морей и корректировки с учетом региональной специфики. После этого добавку F_b в потоках газа между океаном и атмосферой можно будет учитывать и в других районах исследуемых морей.

Заключение

Баренцево море и срединные моря Арктического бассейна играют большую роль в формировании климата Арктики в целом, имеют уникальные и специфические термодинамические характеристики и определяют ледовый режим акватории. Ограниченное количество и неоднородность данных наблюдений в этом регионе затрудняют изучение газообмена вода—воздух и теплового баланса морей. На основе совместного использования локальной модели газообмена и климатических моделей разного пространственного разрешения в

настоящей работе проанализировано влияние выбора климатической информации на распределение потоков тепла и кислорода через поверхность Баренцева моря и срединных арктических морей (Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского).

Выполненные диагностические оценки потоков кислорода и тепла через поверхность арктических морей позволяют сделать вывод о том, что в качестве входных данных для модели газопереноса предпочтительным является использование климатических характеристик, полученных по модели высокого разрешения. Прогноз возможностей гипоксии в приповерхностных водах чрезвычайно важен, поэтому уточнение оценок газопереноса между океаном и атмосферой требует развития моделей разного масштаба. Дальнейшее развитие исследований будет связано с использованием новых версий РКМ и модели газопереноса для прогноза изменения кислородного обмена в Арктическом регионе под влиянием изменения климата.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 13-05-00541-а, № 14-05-00753-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Атлас «Климат морей России и ключевых районов Мирового океана» — www.esimo.ru/atlas/index.html.

Бортковский Р. С. (2006). К оценке среднего обмена кислородом и CO_2 между океаном и атмосферой в ключевых районах океана // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. Т. 42. № 2. С. 250—257.

Бортковский Р. С., Егоров Б. Н., Катцов В. М., Павлова Т. В. (2007). Модельные оценки среднего газообмена между океаном и атмосферой в условиях современного климата и при его изменениях, ожидаемых в 21 веке // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. Т. 43. № 3. С. 313—318.

Бортковский Р. С., Орленко Л. Р., Надёжина Е. Д., Стернзат А. В., Павлова Т. В., Пикалёва А. А., Молькентин Е. К., Егоров Б. Н. (2012). Газообмен через поверхность Баренцева моря (модельные оценки с учетом переноса газа пузырьками при шторме) // Труды ГГО. Вып. 566. С. 42—60.

Бортковский Р. С. (2003). Газоперенос через поверхность океана при сильном ветре и его вклад в средний газообмен // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. Т. 39. № 6. С. 809—816.

Сергиенко В. И., Семилетов И. П., Шахова Н. Е. (2010). Эмиссия метана и углекислого газа на восточно-сибирском шельфе — фактор глобальных климатических изменений. —

http://arhsc.ru/data/files/2010_03_31/materialy2010/ms10_Sergienko.pdf

Школьник И. М., Мелешко В. П., Павлова Т. В. (2000). Региональная гидродинамическая модель для исследования климата на территории России // Метеорология и гидрология. № 4. С. 32—49.

Bortkovskii R. S. (2002). Atmospheric-Ocean gas exchange due to bubbles generated by wind wave breaking // Gas Transfer at Water Surfaces. Geophysical Monograph. Vol. 127. P. 261—264.

McKinley G. A., Follow M. J., Marshall J. (2003). Inter-annual variability of air-sea O₂ fluxes and the determination of CO₂ sinks using atmospheric O₂/N₂ // Geoph. Res. Let. Vol. 30. № 3. 1101. doi:10.1029/2002GL016044.

Gruber N., Gloor M., Song-Miao Fan, Sarmiento J. L. (2001). Air-sea flux of oxygen estimated from bulk data: Implications for the marine and atmospheric oxygen cycles // Global Biogeochemical Cycles. Vol. 15. № 4. P. 783—803.

Dietze H., Oschlies A. (2005). On the correlation between air-sea heat flux and abiotically induced oxygen gas exchange in a circulation model of the North Atlantic // J. Geoph. Res. Vol. 110. C09016, doi:10.1029/2004JC002453.

Falck E., Gade H. G. (1999). Net community production and oxygen fluxes in the Nordic Seas based on O₂ budget calculations // Global Biogeochemical Cycles. Vol. 13. № 4. P. 1117—1126.

Jin X., Najjar R. G., Louanchi F., Doney S. C. (2007). A modeling study of the seasonal oxygen budget of the global ocean // J. Geophys. Res. – Oceans. Vol. 112. C05017. DOI: 10.1029/2006JC003731.

Keeling R. F., Koertzing A., Gruber N. (2010). Ocean Deoxygenation in a Warming World // Annl. Rev. Mar. Sci. Vol. 2. P. 199—229.

McKinley G. A., Follow M. J., Marshall J. (2000). Inter-annual variability of the air-sea flux of oxygen in the North Atlantic // Geophys. Res. Let. Vol. 27. P. 2933—2936.

Manizza M., Keeling R. F., Nevison C. D. (2012). On the processes controlling the seasonal cycles of the air-sea fluxes of O₂ and N₂O: A modeling study // Tellus B. Vol. 64. <http://www.tellusb.net/index.php/tellusb/article/view/18429>.

Najjar R. G., Keeling R. F. (2000). Mean annual cycle of the air-sea oxygen flux: a global view // Global Biogeochemical cycles. Vol. 14. № 2. P. 573—584.

Olsen A., Anderson L. G., Johannessen T. (2002). The impact of climate variations on fluxes of oxygen in the Barents Sea // *Continental Shelf Research*. 01/2002; V. 22 (8). P. 1117—1128. DOI: 10.1016/S0278—4343(02)00006-7.

Sandø A. B., Nilsen J. E., Gao Y., Lohmann K. (2010). Importance of heat transport and local air-sea heat fluxes for Barents Sea climate variability // *J. Geoph. Res.* Vol. 115. C07013. doi: 10.1029/2009JC005884.

Skjelvan I., Falck E., Anderson L. G., Rey F. (2001). Oxygen fluxes in the Norwegian Atlantic Current // *Marine Chemistry*. Vol. 73. P. 291—303. www.elsevier.nl/locate/marchem.

Smedsrud L. H., Ingvaldsen R., Nilsen J. E. Q., Skagseth Q. (2010). Heat in the Barents Sea: transport, storage, and surface fluxes // *Ocean Sci.* Vol. 6. P. 219—234. www.ocean-sci.net/6/219/2010/.

Schrum C., Harms I. H., Hatten K. (2005). Modeling air-sea exchange in the Barents Sea by using a coupled regional ice-ocean model. Evaluation of modeling strategies // *Meteorologische Zeitschrift*. Vol. 14. № 6. P. 801—808.

Wanninkhof R., Asher W. E., Ho D. T. et al. (2009). Advances in quantifying air-sea gas exchange and environmental forcing // *Marine Science*. Vol. 1. P. 213—244.

Zhang X., Zhang J. (2001). Heat and Freshwater Budgets and Pathways in the Arctic Mediterranean in a Coupled Ocean/Sea-ice Model // *Journal of Oceanography*. Vol. 57. P. 207—234.

УДК 551.509

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ САЖЕВОГО АЭРОЗОЛЯ НА ЭВОЛЮЦИЮ КОНВЕКТИВНОГО ОБЛАКА ПРИ СИЛЬНОМ АЭРОЗОЛЬНОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ АТМОСФЕРЫ

*Н. Е. Веремей, Ю. А. Довгалюк, Е. В. Дорофеев,
А. А. Синькевич, К. Ф. Комаровских*

Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова
194021 Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 7
E-mail: veremey@gmail.com,
dovgaluk35@mail.ru,
sinkevich51@mail.ru

Поступила в редакцию 15.09.2014
Поступила после доработки 29.09.2014

Введение

Некоторые виды атмосферных аэрозолей, попадая в облака, способствуют появлению ледяных частиц (гетерогенная нуклеация льда) в условиях, когда они обычно не образуются (Hoose, Möhler, 2012). К таким аэрозолям относятся в первую очередь частицы сажи, которые появляются в атмосфере в результате процессов горения (при горении торфяников, лесов, при крупных пожарах в городах, на объектах нефтегазовой промышленности и т. п.). Лесные и торфяные пожары, охватывающие значительные площади, обычно имеют большую продолжительность по времени (до нескольких месяцев). В связи с этим в определенные периоды времени концентрация частиц сажи в атмосфере оказывается достаточно большой.

В соответствии с рекомендациями Минздравсоцразвития России (Ежегодник, 2012) предельно допустимые значения массовой концентрации сажи в атмосферном воздухе составляют $5,0 \cdot 10^{-5} \text{ г/м}^3$ для среднесуточного значения и $1,5 \cdot 10^{-4} \text{ г/м}^3$ для максимального разового значения. В периоды крупных пожаров концентрация сажи

оказывается во много раз выше предельно допустимых значений, что негативно сказывается на здоровье населения (Безуглая и др., 2008).

При повышенной концентрации сажевые частицы благодаря своим льдообразующим свойствам могут оказывать заметное влияние на фазовые переходы воды в атмосфере, в частности, на процессы облако- и осадкообразования. Особый интерес представляет влияние аэрозолей на эволюцию облаков конвективных форм, так как с этими облаками обычно связан целый ряд опасных явлений погоды (ливни, грозы, град, шквалы, смерчи). Исследование влияния аэрозольных примесей на эволюцию конвективных облаков и связанных с ними осадков представляет интерес в контексте задач активных воздействий.

Известно, что динамические и микрофизические процессы в конвективных облаках тесно связаны между собой (Веремей, Довгалюк, Морозов, 2006; Веремей, Довгалюк, Морозов, 2007; Довгалюк, Веремей, Синькевич, 2007; Довгалюк, Веремей, Синькевич, 2013). В частности, изменение характера и интенсивности фазовых переходов воды влияет на выделение (поглощение) фазового тепла, что, в свою очередь, определяет динамику конвективных потоков в облаке. От фазовых переходов зависит осадкообразование. От скорости и интенсивности образования и выпадения осадков зависит процесс диссипации конвективного облака. Таким образом, наличие в облачной среде примесей в виде сажевого аэрозоля способно заметно влиять на эволюцию облака (Райст, 1987).

Приведенный в работе (Hoose, Möhler, 2012) обзор лабораторных экспериментов по исследованию льдообразующих свойств сажи показывает, что данные, полученные разными авторами, весьма противоречивы. В ряде лабораторных исследований не было зарегистрировано наличия выраженных льдообразующих свойств частиц сажи, кристаллизация отмечалась при весьма низких температурах (от -20 до -40 °C), характерных для условий гомогенной кристаллизации (Kanji and Abbatt, 2006; Dymarska et al., 2006; Friedman et al., 2011; Koehler et al., 2009). Другие исследователи наблюдали кристаллизацию на частицах сажи при весьма высоких температурах (от -4 до -20 °C) (DeMott, 1990; Diehl and Mitra, 1998;

Gorbunov et al., 2001; Popovicheva et al., 2008; Kireeva et al., 2009; Fornea et al., 2009). Такие расхождения вероятно связаны с различиями в условиях проведения экспериментов и различиями в химическом составе исследуемой сажи. Все это, по-видимому, и привело к значительному разбросу данных. Однако из полученных результатов следует, что сажевый аэрозоль при некоторых условиях проявляет льдообразующие свойства.

Целью данной работы является изучение влияния больших концентраций сажевого аэрозоля, возникающего при крупных пожарах, на эволюцию конвективных облаков методом численного моделирования.

Для этого был выполнен цикл численных экспериментов по моделированию эволюции конвективного облака в атмосфере, загрязненной сажевыми аэрозольными частицами, с помощью численной нестационарной полуторамерной модели (Довгалюк, Веремей, Синькевич, 2007; Довгалюк, Веремей, Синькевич, 2013). Расчеты выполнены для реальной ситуации, имевшей место в атмосфере над Москвой и ее окрестностями в период лесных пожаров в 2010 г.

1. Состояние атмосферы в Московском регионе в период лесных пожаров летом 2010 года

Летом 2010 года с середины июня до середины августа в Москве и Московской области наблюдалась необычайно жаркая и преимущественно сухая погода (Плауде, Стулов и др., 2013). Погода определялась устойчивыми антициклональными условиями. Интенсивные ночные инверсии температуры способствовали накоплению аэрозолей в приземном воздухе. Жаркая сухая погода привела к возникновению крупных лесных и торфяных пожаров на территории Московской и Рязанской областей. Эти пожары в сочетании со сложившимися атмосферными условиями приводили к сильному аэрозольному загрязнению (отметим, что схожая ситуация в дальнейшем сложилась и летом 2014 г.). В работе (Плауде и др., 2013) ход концентрации аэрозолей в течение лета 2010 г. сопоставлен с

ходом числа лесных пожаров, максимальной дневной температурой и атмосферным давлением.

Для анализа в настоящей работе был выбран день 6 августа 2010 г., когда в условиях сильного задымления атмосферы происходило образование и развитие мощных осадкообразующих конвективных грозовых облаков и выпадение ливневых осадков.

В указанный день в Московском регионе наблюдалось образование и развитие конвективных облаков с высотой верхней границы, достигающей 11 км. На рис. 1 в качестве примера приведено горизонтальное распределение высоты верхней границы конвективной облачности, полученное с помощью радиолокаторов, для одного из выбранных сроков.

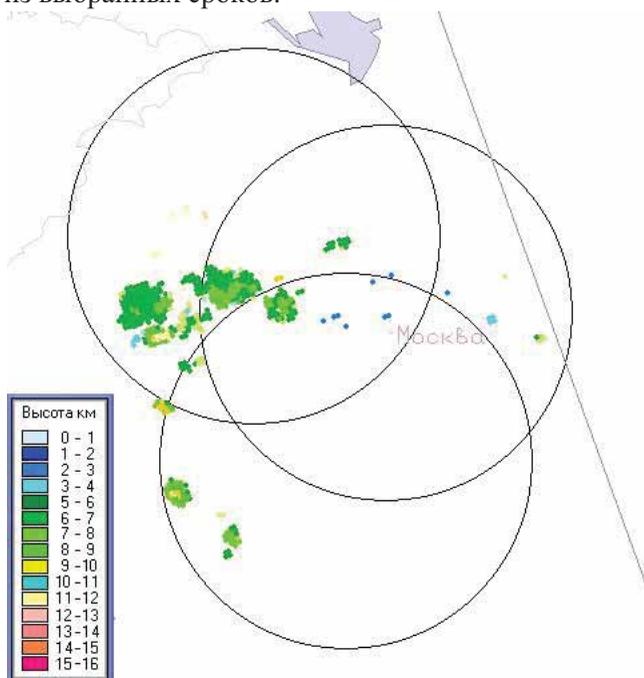


Рис. 1. Горизонтальное распределение высоты верхней границы конвективной облачности в Московском регионе по данным радиолокационных наблюдений (6.08.2010 по состоянию на 15 ч UTC, 19 ч местного времени).

2. Результаты моделирования эволюции облака без учета сильного аэрозольного загрязнения

Численные расчеты характеристик конвективных облаков, развивавшихся в Московском регионе 06.08.2010 г. были выполнены с помощью численной нестационарной модели малой размерности, разработанной в ГГО. Данная модель конвективного облака и ее возможности детально описаны в работе Ю. А. Довгалюк, Н. Е. Веремея и А. А. Синькевича (2013). Модель с параметризованным описанием микрофизических процессов содержит уравнения движения, неразрывности, притока тепла, а также уравнения баланса водяного пара, облачных капель, дождевых капель, облачных ледяных кристаллов и градин. Система уравнений дополнена параметрическими выражениями для расчета интенсивности микрофизических процессов (фазовых переходов и коагуляции). Модель прошла независимое тестирование, которое показало, что она удовлетворительно воспроизводит эволюцию основных характеристик конвективного облака.

Сначала было выполнено численное моделирование эволюции конвективного облака при отсутствии сильного аэрозольного загрязнения, т. е. в предположении, что аэрозольный состав атмосферы соответствует фоновым условиям.

В качестве начальных условий были выбраны вертикальные профили температуры и влажности, полученные по данным радиозондирования по ст. Долгопрудный (27612) за 6 августа 2010 г., 00 ч UTC (04 ч местного времени). В профиль температуры были внесены поправки с учетом максимальной в течение дня температуры и точки росы у подстилающей поверхности (36,3 °C и 21,0 °C соответственно). Начальные данные приведены в табл. 1 и на рис. 2.

Анализ данных радиозондирования показал, что в атмосфере наблюдалась значительная вертикальная термическая неустойчивость. Запас энергии неустойчивости в слое развития конвекции (до уровня давления 184 ГПа) составлял 4135 Дж/кг, что указывает на нестабильность атмосферы в анализируемый день.

Таблица 1

Вертикальные профили температуры и влажности в атмосфере

| p , ГПа | T , °C | T_d , °C | p , ГПа | T , °C | T_d , °C |
|-----------|----------|------------|-----------|----------|------------|
| 996 | 36,3 | 21,0 | 500 | -10,7 | -16,7 |
| 960 | 38,1 | 11,0 | 484 | -12,4 | -18,0 |
| 925 | 31,1 | 8,2 | 400 | -22,1 | -25,6 |
| 893 | 25,6 | 7,3 | 380 | -24,6 | -28,0 |
| 850 | 22,0 | 6,0 | 353 | -28,3 | -31,6 |
| 784 | 16,4 | 3,8 | 300 | -37,7 | -40,8 |
| 700 | 8,6 | 0,6 | 250 | -48,3 | -51,5 |
| 674 | 5,6 | -0,4 | 226 | -49,7 | -53,1 |
| 554 | -7,4 | -12,4 | 200 | -52,5 | -55,9 |

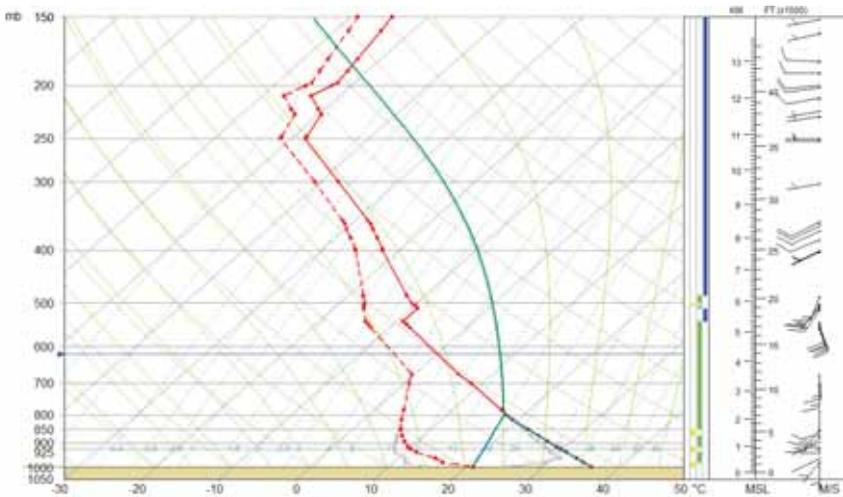


Рис. 2. Данные радиозондирования атмосферы после обработки программой RAOB.

Относительная влажность в нижних слоях тропосферы была низкой и не превышала 40 % до высоты 2 км. Далее отмечается ее увеличение до 60—70 %. На высоте 5,3 км (что соответствует температуре $-9,1$ °C) и 10,9 км ($-48,0$ °C) располагались

инверсионные слои, которые могли ограничивать вертикальное развитие облаков.

В результате расчетов получено, что при температурно-влажностных характеристиках, приведенных в табл. 1, в атмосфере развивается мощное осадкообразующее грозовое кучево-дождевое облако, максимальные значения основных характеристик которого приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Максимальные значения основных характеристик облака,
высота и время их достижения**

| Характеристика | Максимальное значение | Высота, км | Время, мин |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------|------------|
| Скорость восходящего потока (w), м/с | 32,9 | 10,4 | 19,9 |
| Водность облачных капель (Q_c), г/м ³ | 2,5 | 6,8 | 14,5 |
| Водность дождевых капель (Q_r), г/м ³ | 2,4 | 2,0 | 29,9 |
| Суммарная водность (Q_Σ), г/м ³ | 2,8 | 6,8 | 14,7 |
| Ледность градин (Q_i), г/м ³ | 5,7 | 5,6 | 25,4 |
| Интенсивность дождя у подстилающей поверхности, мм/ч | 4,8 | — | 33 |
| Интенсивность града у подстилающей поверхности, мм/ч | 0 | — | — |
| Суммарная интенсивность осадков у подстилающей поверхности, мм/ч | 4,8 | — | 33 |

По данным расчетов максимальная высота верхней границы расчетного облака составляет 12,6 км, что несколько больше наблюдаемых значений (рис. 1).

Из таблицы следует, что в атмосфере развивается очень сильный восходящий поток (его максимальная скорость составляет 32,9 м/с). Максимальные значения водности и ледности составляют 2,8 и 5,7 г/м³ соответственно, при этом максимальная водность облачных капель составляет 2,5 г/м³, дождевых капель — 2,4 г/м³. Интенсивность осадков у подстилающей поверхности крайне мала для столь мощного облака (4,8 мм/ч). Это, по-видимому, объясняется испарением осадков в подоблачном слое, в котором велики значения дефицита точки росы (табл. 1). Осадки выпадают только в виде дождя, град у подстилающей поверхности отсутствует. В то же время, по данным натурных наблюдений, в указанный день наблюдались сильные грозовые ливни.

3. Моделирование эволюции облака в условиях сильного загрязнения атмосферы сажевой аэрозольной примесью

Далее были выполнены расчеты эволюции конвективного облака с учетом льдообразующих свойств сажевого аэрозоля. Указанные свойства в модели описываются параметрически. Предполагается, что в части облака, находящейся в области температур ниже $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$, замораживается определенный процент облачных капель (кроме тех, которые могут замерзнуть вследствие других механизмов, таких как гомогенное замерзание). При расчетах доля замораживаемых облачных капель p варьировалась от 0 до 100 %.

Результаты расчетов представлены на рис. 3 и 4, из которых следует, что уже при замораживании достаточно малой доли облачной влаги ($p = 10\%$) резко усиливается осадкообразование. Объясняется это тем, что облачные капли, гомогенное замерзание которых при отсутствии аэрозольной примеси происходит при очень низких температурах (порядка $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$), под воздействием льдообразующих свойств сажи начинают замерзать при температурах существенно более высоких. При этом процесс перехода жидкокапельной влаги в

ледяные кристаллы охватывает гораздо большую часть облака. Вслед за мелкими облачными каплями начинают замерзать и дождевые капли вследствие коагуляции с облачными ледяными кристаллами, что приводит к дополнительному образованию градин. Образование дополнительной массы ледяной фазы в облаке приводит к усиленному осадкообразованию (рис. 3). Так, при $p = 10\%$ интенсивность осадков у Земли возрастает до 20 мм/ч (против 4,8 мм/ч без учета аэрозольного загрязнения). Имеет место выпадение града, но его интенсивность невелика (0,6 мм/ч). Большую часть осадков составляет дождь, так как градины при высокой температуре воздуха в подоблачном слое успевают почти полностью растаять.

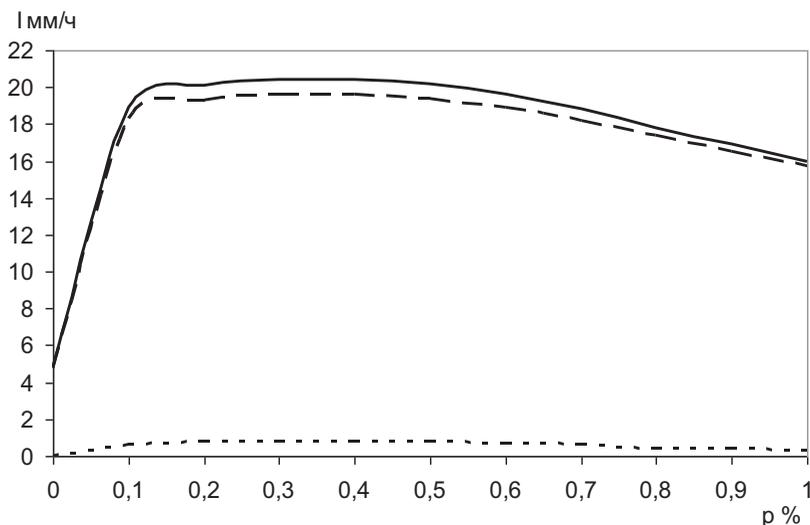


Рис. 3. Зависимость максимальной интенсивности осадков у Земли от доли облачных капель, замороженных в результате действия сажевого аэрозоля.

Сплошная кривая – осадки в целом, пунктирная – дождь, точечная – град.

На рис. 4 приведена зависимость водности облачных (Q_c) и дождевых (Q_r) капель, а также ледности градин (Q_i) от p . Видно, что при $p = 10\%$ абсолютный максимум Q_c понижается с 2,5 до 2,0 г/м³ по сравнению со случаем отсутствия аэрозольного загрязнения. При этом в слое, где температура ниже $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$, это значение не превышает

0,1—0,2 г/м³, а высокие значения сохраняются только в более низкой части облака. Значение Q_r увеличивается с 2,4 до 2,6 г/м³, а Q_i — с 5,6 до 6,5 г/м³.

При дальнейшем повышении значения p осадкообразующий эффект перестает проявляться, а затем даже несколько снижается (явление перезасева). Это видно как на рис. 3, где изображена зависимость интенсивности осадков от p , так и на рис. 4, где приведены аналогичные кривые для водности и ледности. Обусловлено это тем, что даже замораживание малой части облачной влаги приводит к быстрому замерзанию облака в целом посредством коагуляции облачных кристаллов и дождевых капель.

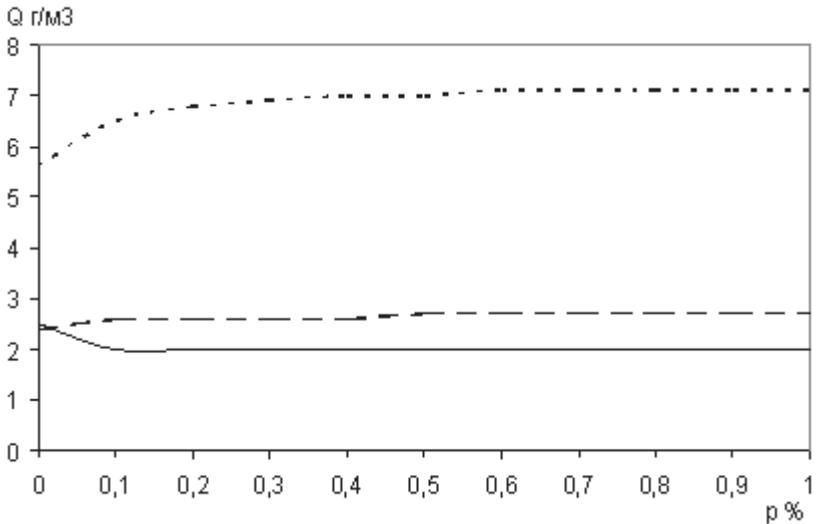


Рис. 4. Зависимость максимального удельного содержания облачных капель (сплошная кривая), дождевых капель (пунктирная кривая) и градин (точечная кривая) от доли облачных капель, замороженных в результате действия сажевого аэрозоля.

На рис. 5 а, б приведены вертикальные профили Q_c , Q_r и Q_i для моментов времени 20 и 30 мин. Первый момент соответствует стадии развития облака, второй — стадии зрелости, когда происходит выпадение осадков.

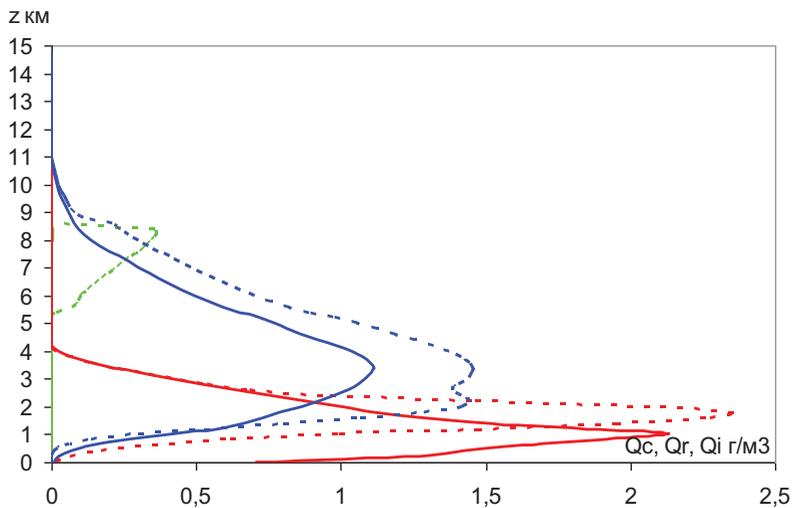
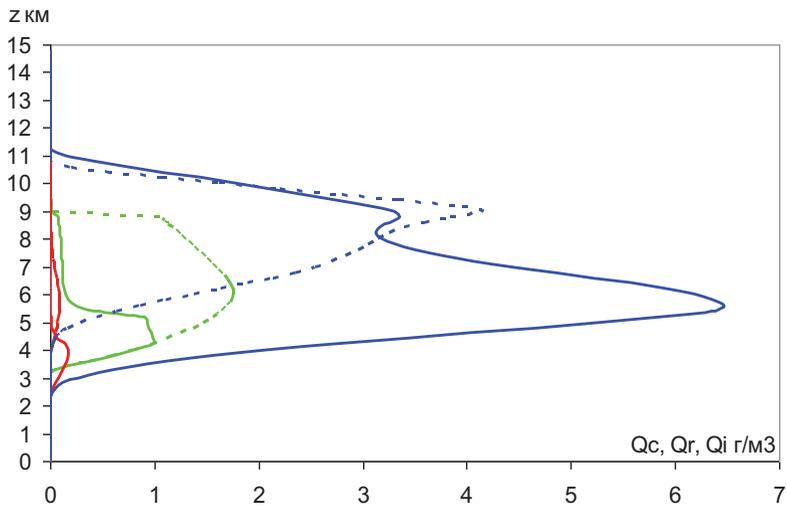


Рис. 5. Вертикальные профили удельного содержания облачных капель (зеленые кривые), дождевых капель (красные кривые) и градин (синие кривые) для моментов времени $t = 20$ мин (сверху) и $t = 30$ мин (снизу). Пунктирная линия соответствует случаю без учета сажи, сплошная — случаю с учетом сажи, при замораживании 10 % облачных капель.

Профили приведены для случая отсутствия учета льдообразующего действия сажевого аэрозоля и при учете указанного действия (при $p = 10 \%$). Из рисунков видно, что учет дополнительного льдообразования приводит к практически полному исчерпанию запаса облачных капель в области температур ниже $-7 \text{ }^\circ\text{C}$ (соответствует уровню высоты около 5 км). Облачные капли, замерзая, превращаются в облачные кристаллы, а те в дальнейшем достаточно быстро коагулируют с дождевыми каплями, замораживая их и превращая в градины. Последние, обладая более крупными размерами по сравнению с дождевыми каплями, быстро выпадают в подоблачный слой, а затем и на подстилающую поверхность. Там они тают и превращаются в дождевые капли. Увеличение массы последних хорошо заметно на рис. 5б. Частицы осадков, как твердые, так и жидкие, интенсивно коагулируют с оставшимися облачными каплями, что приводит к окончательному исчерпанию запаса последних и к еще большему увеличению массы осадков.

Отметим, что, по данным натурных наблюдений, в этот день отмечались ливни и грозы. Интенсивность осадков, полученная при учете льдообразующего действия сажи (около 20 мм/ч), удовлетворительно согласуется с натурными наблюдениями, которые показали, что в данный день развивались весьма мощные конвективные облака, имеющие высокие значения отражаемости и, следовательно, значительную интенсивность осадков. Напротив, малая интенсивность осадков (4,8 мм/ч), полученная при расчетах для случая отсутствия загрязнения, с данными наблюдений расходится.

Выводы

Выполнен цикл численных экспериментов по моделированию эволюции конвективного облака в атмосфере, загрязненной сажевыми аэрозольными частицами, с помощью численной нестационарной полуторамерной модели. В качестве примера рассмотрена атмосферная ситуация, имевшей место в Москве и ее окрестностях в период лесных пожаров в 2010 г. Выбран день 6 августа 2010 г., так как в этот день на фоне аэрозольного загрязнения атмосферы

наблюдалось развитие осадкообразующих конвективных грозных облаков.

Получено, что при отсутствии учета льдообразующих свойств сажевого аэрозоля осадки из облака незначительны (менее 5 мм/ч), что обусловлено большим дефицитом точки росы в подоблачном слое. В то же время учет дополнительного льдообразования приводит к значительному увеличению интенсивности осадков у Земли, что и наблюдалось в реальных условиях.

Таким образом, наличие больших концентраций сажевого аэрозоля в атмосфере при крупных продолжительных пожарах существенно влияет на эволюцию конвективных облаков и связанных с ними осадков.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 13-05-92697 ИНД_а, 15-05-0571).

При проведении расчетов использовались ресурсы суперкомпьютера "Ломоносов" МГУ имени М. В. Ломоносова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Безуглая Э. Ю., Смирнова И. В. (2008). Воздух городов и его изменения. — СПб.: Астерион. 253 с.

Веремей Н. Е., Довгалюк Ю. А., Морозов В. Н. (2006). О параметризации микрофизических процессов в численных моделях грозных облаков // Метеорология и гидрология. № 11. С. 5—18.

Веремей Н. Е., Довгалюк Ю. А., Морозов В. Н. (2007). О параметризации микрофизических процессов электризации в трехфазной модели конвективного облака // Метеорология и гидрология. № 10. С. 42—54.

Довгалюк Ю. А., Веремей Н. Е., Синькевич А. А. (2007). Применение полуторамерной модели для решения фундаментальных и прикладных задач физики облаков. — СПб.: Д Арт. 162 с.

Довгалюк Ю. А., Веремей Н. Е., Синькевич А. А. (2013). Применение полуторамерной модели для решения фундаментальных и прикладных задач физики облаков. — СПб.: Моби Дик. 220 с.

Ежегодник (2012). Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2011 г. — СПб.: Д. Арт. 215 с.

Плауде Н. О., Стулов Е. А., Паршуткина И. П., Сосникова Е. В., Монахова Н. А. (2013). Характеристики атмосферного аэрозоля в Московском регионе — М.: Научный Мир. 79 с.

Райт П. (1987). Аэрозоли. Введение в теорию. — М.: Мир. 278 с.

DeMott P. J. (1990). An exploratory study of ice nucleation by soot aerosols // *J. Appl. Meteorol.* 29. P. 1072—1079.

Diehl K. and Mitra S. K. (1998). A Laboratory study of the effects of a Kerosene-burner exhaust on ice nucleation and the evaporation rate of ice crystals // *Atmos. Environ.* V. 32. P. 3145—3151.

Dymarska M., Murray B. J., Sun L., Eastwood M. L., Knopf D. A. and Bertram A. K. (2006). Deposition ice nucleation on soot at temperatures relevant for the lower troposphere // *J. Geophys. Res.* 111. D04204. doi:10.1029/2005JD006627.

Fornea A. P., Brooks S. D., Dooley J. B., Saha A. (2009). Heterogeneous freezing of ice on atmospheric aerosols containing ash, soot, and soil // *J. Geophys. Res.* 114. D13201. doi: 10.1029/2009JD011958.

Friedman B., Kulkarni G., Beranek J., Zelenyuk A., Thornton J., Cziczo D. (2011). Ice nucleation and droplet formation by bare and coated soot particles // *J. Geophys. Res.* 116. D17203, doi: 10.1029/2011JD015999.

Gorbunov B., Baklanov A., Kakutkina N., Windsor H. L. and Toumi R. (2001). Ice nucleation on soot particles // *J. Aerosol Sci.* 32. 199—215.

Hoose C., Möhler O. (2012). Heterogeneous ice nucleation on atmospheric aerosols: a review of results from laboratory experiments // *Atmospheric Chemistry and Physics.* 12. P. 9817—9854.

Kanji Z. A. and Abbatt J. P. D. (2006). Laboratory studies of ice formation via deposition mode nucleation onto mineral dust and n-hexane soot samples // *J. Geophys. Res.* 111. D16204. doi:10.1029/2005JD006766.

Kireeva E. D., Popovicheva O. B., Persiantseva N. M., Khokhlova T. D. and Shonija N. K. (2009). Effect of black carbon particles on the efficiency of water droplet freezing // *Colloid J.* 71. P. 353—359.

Koehler K. A., DeMott P. J., Kreidenweis S. M., Popovicheva O. B., Petters M. D., Carrico C. M., Kireeva E. D., Khokhlovac T. D. and Shonijac N. K. (2009). Cloud condensation nuclei and ice nucleation activity of hydrophobic and hydrophilic soot particles // *Phys. Chem. Phys.* 11. P. 7906—7920. doi:10.1039/b905334b.

Popovicheva O., Kireeva E., Persiantseva N., Khokhlova T., Shonija N., Tishkova V., Demirdjian B. (2008). Effect of soot on immersion freezing of water and possible atmospheric implications // *Atmos. Res.* 90. P. 326—337.

УДК 551.510.04

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФОТОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ САЖЕВОГО АЭРОЗОЛЯ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ

А. А. Успенский, Н. Ш. Вольберг, А. В. Степаков

Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова

194021 Санкт-Петербург, ул. Карбышева, д. 7

E-mail: uspia@bk.ru, volberg@main.mgo.rssi.ru, alstepakov@yandex.ru

Поступила в редакцию 8.09.2014

Поступила после доработки 22.10.2014

Возможные климатические последствия, вызванные эмиссией сажевых частиц, являются в настоящее время одним из наиболее активно изучаемых факторов воздействия на атмосферу (Painter et al., 2013). Сажевые аэрозоли, поступающие в атмосферу как от антропогенных (транспорт, промышленность, жилищный сектор), так и от природных (лесные пожары, горение биомассы) источников, вносят вклад в химический и радиационный баланс атмосферы (Lauer et al., 2007; Емиленко, Копейкин, 2009; Козлов и др., 2009). Частицы сажевого аэрозоля способны образовывать ядра нуклеации, ответственные за образование облаков и смога (Lohmann et al., 2004; Поповичева, Старик, 2007). В настоящее время существует гипотеза, что углеродсодержащие частицы могут стимулировать процессы льдообразования в атмосфере, что подтверждается многочисленными фактами обнаружения этих частиц в ледяных кристаллах перистых облаков (Kuhn et al., 1998; Petzold et al., 1998; Strom, Ohlsson, 1998).

Влияние сажевого аэрозоля не ограничивается только воздействием на климат. При проведении измерений в регионах с различной степенью антропогенной нагрузки было установлено, что вблизи промышленных центров содержание сажевого аэрозоля в несколько раз превышает фоновые значения (Козлов и др., 2010; Емиленко, Копейкин, 2009). Известно, что на поверхности сажевых частиц происходит сорбция низко- и высокомолекулярных полиароматических углеводо-

родов, ряд из которых обладает канцерогенными и мутагенными свойствами, что может отрицательно сказываться на здоровье людей, проживающих в зонах с повышенной концентрацией сажевого аэрозоля в атмосфере (Janssen et al., 2012; Киреева и др., 2011; Armstrong et al., 2004). Для сажи установлены следующие предельно допустимые концентрации: максимальная разовая — $0,15 \text{ мг/м}^3$, среднесуточная — $0,05 \text{ мг/м}^3$ (Гигиенические нормативы, 2003).

В последние десятилетия мониторинг сажевого аэрозоля в атмосфере над сушей осуществляется на регулярной основе на стационарных постах. Данные о распространении сажевого аэрозоля дополняются за счет проведения измерений над акваториями морей и океанов, а также в арктических и антарктических районах (Копейкин и др., 2010). Концентрация частиц сажевого аэрозоля на стационарных станциях в настоящее время определяется, главным образом, оптическими методами (Sandradewi et al., 2008; Park et al., 2010; Cape et al., 2012). Оптический метод основан на использовании аэталометра, который реализует метод диффузионного ослабления света слоем аэрозольных частиц непосредственно в процессе их осаждения на аэрозольный фильтр и позволяет измерять массовую концентрацию сажи в режиме реального времени. Начиная со второй половины 1980-х годов, аэталометры используются на всех континентах в городских, пригородных, сельских и удалённых зонах. В Российской Федерации они не получили широкого распространения, в первую очередь, из-за высокой стоимости. Используемая в настоящее время лабораториями мониторинга загрязнения атмосферы визуальная методика измерения сажи не обеспечивает получения данных о концентрации сажи в режиме оперативного мониторинга. В то же время наблюдение за эмиссией сажевого аэрозоля в городах и промышленных районах, где уровень аэрозольной нагрузки атмосферы может быть значительным, является актуальной задачей.

В сетевых лабораториях мониторинга загрязнения атмосферы Росгидромета определение концентрации сажевого аэрозоля осуществляется по методу, основанному на улавливании сажи из воздуха мембранными фильтрами и определении ее массовой концентрации путем сопоставления степени почернения фильтра со стандартной

шкалой, приготовленной из суспензии чистой сажи (Руководящий документ, 1991). Данная методика обладает значительным фактором неопределенности и требует замены на более точную. Ранее для определения концентрации сажи в воздухе был разработан фотометрический метод, который заключался в растворении фильтра с отобранной пробой в дихлорэтане с добавлением сапонина (в качестве стабилизатора суспензии) и последующем фотометрическом анализе полученной смеси (Соловьева, Хрусталева, 1974). Этот метод не получил широко распространения из-за токсичности используемых реактивов.

Цель настоящей работы заключается в разработке усовершенствованного варианта фотометрической методики определения концентрации сажевого аэрозоля в атмосфере.

Предлагаемый метод основан на отборе проб сажи на аналитические аэрозольные фильтры АФА-ВП-10 (материал полихлорвинил), растворении фильтра с пробой в диметилсульфоксиде (ДМСО) с последующей ультразвуковой обработкой пробы и фотометрическом анализе суспензии. Для определения концентрации предварительно была построена градуировочная шкала с использованием технического углерода марки П-514. Согласно ГОСТ 7885-86 углерод П-514 — печной, среднеактивный, получаемый при термоокислительном разложении жидкого углеводородного сырья со средним показателем дисперсности и средним показателем структурности, по своим параметрам наиболее близок к сажевым частицам, поступающим в атмосферу. Оптическая плотность сажи измерялась на фотоэлектроколориметре UNICO-1201 на длине волны 400 нм. Выбор длины волны обусловлен тем, что сажевые частицы обладают максимальным светопоглощением в видимой части спектра (согласно ГОСТ 7885-86 измерение оптической плотности сажевых суспензий рекомендуется проводить при длине волны 315 или 400 нм).

Основной любой аналитической методики, реализующей принцип фотометрического изучения системы, содержащей взвешенные частицы, является стабильная суспензия. Стабильность суспензии зависит от ряда факторов: размеров частиц дисперсной фазы, их формы, удельного веса вещества, плотности среды и др. Чем крупнее частицы и чем больше удельный вес вещества, тем активнее протекают про-

цессы седиментации. С уменьшением размеров частицы оседают медленнее, и суспензия становится более стабильной. Однако суспензии сажи, приготовленные простым ультразвуковым диспергированием (измельчением), стабильны во времени лишь в течение нескольких часов. Стоит отметить, что данные об изменении во времени оптической плотности таких суспензий в литературе отсутствуют. Получение более стабильных суспензий требует дополнительной химической модификации системы. Стабильность сажевой суспензии, ее седиментационная устойчивость может быть повышена путем ввода в систему вспомогательных веществ — стабилизаторов, которые образуют на поверхности частиц сажи защитный адсорбционный слой. В качестве стабилизаторов суспензий активно используются полимеры, предотвращающие седиментацию частиц за счет образования адсорбционной защитной оболочки вокруг частиц дисперсной фазы.

Для серийных определений сажи в атмосфере представлялось целесообразным изучить возможность использования материала самого аэрозольного фильтра в качестве стабилизатора сажевой суспензии. Для этого были получены два раствора, приготовленные растворением материала одного фильтра АФА-ВП-10 в 5 мл ДМСО (наиболее доступный и безопасный растворитель для материала фильтра), к данным растворам добавили по 140 и 180 мкг техуглерода марки П-514 соответственно и провели ультразвуковое диспергирование суспензий. Параллельно аналогичным способом были получены суспензии 140 и 180 мкг техуглерода в чистом ДМСО. Полученные суспензии помещали в кюветы с расстоянием между гранями 10 мм и измеряли оптическую плотность относительно нулевого раствора (раствор материала одного фильтра в 5 мл ДМСО). Затем измерение оптической плотности проводили последовательно через 5, 10, 15, 30, 45, 60 мин и 2 ч. Графики изменения оптической плотности суспензий в ДМСО в зависимости от времени представлены на рис. 1. Изменение оптической плотности суспензий техуглерода, содержащих полимерный материал фильтра, составило в обоих случаях около 0,03 единицы в течение 2 ч (графики 1 и 3), тогда как для суспензий в чистом ДМСО изменение оптической плотности за аналогичный временной интервал равно 0,2 единицы (графики 2 и 4).

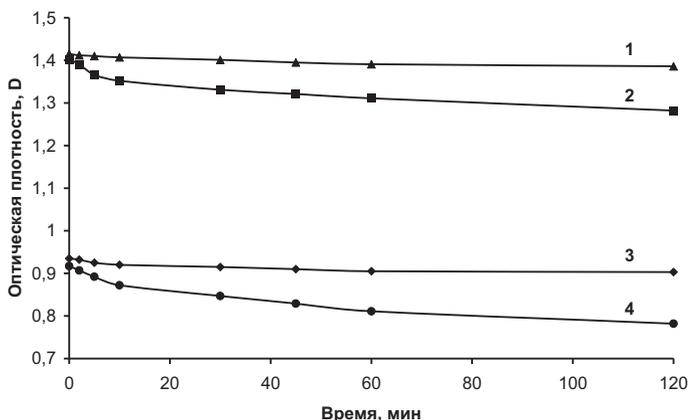


Рис. 1. Зависимость изменения оптической плотности суспензий техуглерода в ДМСО от времени.

1 — суспензия 180 мкг техуглерода в ДМСО, содержащая полимерный материал фильтра; 2 — суспензия 180 мкг техуглерода в чистом ДМСО; 3 — суспензия 140 мкг техуглерода в ДМСО, содержащая полимерный материал фильтра; 4 — суспензия 140 мкг техуглерода в чистом ДМСО.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о стабилизирующем влиянии материала фильтра АФА-ВП-10 (полихлорвинил) на суспензии техуглерода в ДМСО. Аналогичные зависимости были получены для суспензий, содержащих соответственно 40 и 80 мкг техуглерода. Устойчивые значения оптической плотности для суспензий, содержащих материал фильтра, позволяют успешно использовать данный подход при проведении серийных анализов.

Для достижения максимальной гомогенизации суспензий техуглерода в ДМСО было использовано ультразвуковое диспергирование (измельчение), которое позволило минимизировать влияние на величину оптической плотности крупных конгломератов углеродсодержащих частиц, дающих значительную погрешность при анализах. Ультразвуковое диспергирование, позволяющее получать системы сверхтонкой дисперсности (средний размер частиц — микроны и доли микрон), происходит за счет кавитации и взаимного трения быстро движущихся и соударяющихся частиц в две фазы. В первой фазе из-

мельчение происходит благодаря наличию в частицах сажи большого количества микротрещин, и поэтому трение частиц о жидкость и их взаимные соударения играют определяющую роль. Во второй фазе измельчение происходит за счет кавитационных ударных волн, формирующих в частицах сажи новые микротрещины. Для каждой системы существует оптимальное время ультразвукового диспергирования, обеспечивающее получение частиц минимального размера.

Для определения оптимального времени ультразвукового диспергирования при проведении анализа была изучена зависимость оптической плотности суспензии от времени ультразвуковой обработки. Для целей эксперимента были получены три суспензии, содержащие соответственно 60, 90 и 200 мкг техуглерода в 5 мл ДМСО, дополнительно в каждую пробу добавили по одному фильтру АФА-ВП-10. Полученные суспензии вначале встряхивали вручную в течение 3-х минут и фиксировали начальные значения оптической плотности, затем суспензии подвергали ультразвуковому диспергированию в течение 1 ч, регистрируя оптическую плотность через 2, 5, 10, 15, 20, 30, 45 и 60 мин. Из графика (рис. 2) видно, что оптическая плотность суспензий увеличивается при обработке ультразвуком примерно в течение 50 мин, затем график приобретает вид «плато», в пределах которого значения оптической плотности практически не изменяются. Исходя из полученных результатов, ультразвуковое диспергирование сажевых суспензий в ДМСО в течение 60 мин определяется как оптимальное при проведении анализов.

Полученные данные позволяют рекомендовать следующий ход анализа. Исследуемый воздух протягивают через аэрозольный фильтр АФА-ВП-10, закрепленный в фильтродержателе, со скоростью 20 л/мин в течение 30 минут. Фильтр с помощью пинцета помещают в пробирку, в которую добавляют 5 мл чистого ДМСО, при этом происходит растворение материала фильтра. Для лучшего растворения материала фильтра пробу рекомендуется интенсивно встряхивать в течение 3—5 мин. Пробу помещают в ультразвуковую баню и подвергают диспергированию в течение 60 мин. Затем определяют оптическую плотность суспензии при $\lambda = 400$ нм по отношению к холостой пробе. Холостую пробу готовят растворением материала одного филь-

тра АФА-ВП-10 в 5 мл ДМСО. Измерения проводят в кювете с расстоянием между гранями 10 мм.

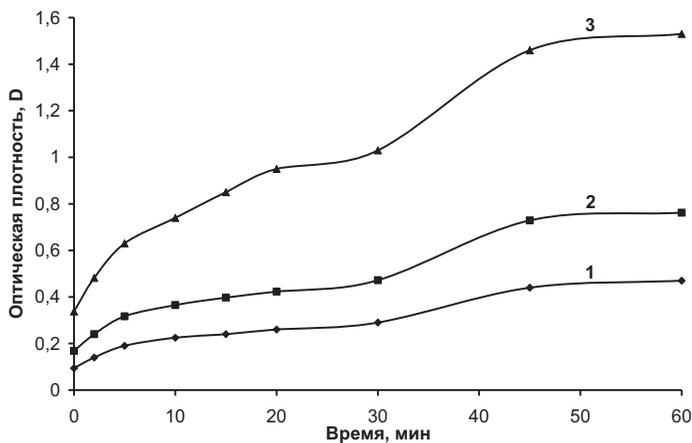


Рис. 2. Изменение оптической плотности суспензий техуглерода в ДМСО в зависимости от времени ультразвукового диспергирования.

- 1 – суспензия 60 мкг техуглерода в 5 мл ДМСО.
- 2 – суспензия 90 мкг техуглерода в 5 мл ДМСО.
- 3 – суспензия 200 мкг техуглерода в 5 мл ДМСО.

Концентрацию сажи в пробе определяют по калибровочному графику, построенному по данным измерений оптической плотности стандартных суспензий (рис. 3). Для приготовления градуировочных суспензий была получена рабочая суспензия: к 1,2 мг техуглерода добавили 30 мл чистого ДМСО и шесть фильтров АФА-ВП-10, после растворения материала фильтров суспензию подвергли ультразвуковому диспергированию в течение 60 мин. Данным способом была получена стабильная рабочая суспензия с концентрацией техуглерода 40 мкг/мл.

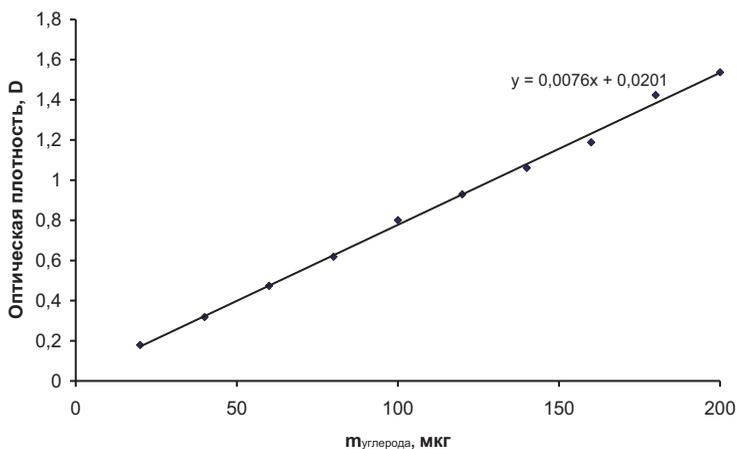


Рис. 3. Зависимость оптической плотности суспензии от массы техуглерода в пробе.

Градуировочную характеристику, выражающую зависимость оптической плотности суспензии от массы техуглерода в пробе, устанавливают по суспензиям для градуировки, приготовленным в 5 сериях. Каждую серию, состоящую из 10 суспензий для градуировки, готовят из рабочей суспензии с массовой концентрацией 40 мкг/мл. Суспензии для градуировки готовят в пробирках с притертой пробкой вместимостью 10 мл так, чтобы каждые 5 мл стандартов содержали соответственно по 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200 мкг техуглерода. Для этого в каждую пробирку вносят рабочую суспензию для градуировки в соответствии с табл. 1, доводят раствором для разбавления до объема 5,0 мл и интенсивно встряхивают. Раствор для разбавления готовят растворением 6 фильтров АФА-ВП-10 в 30 мл ДМСО.

Таблица 1

Суспензии для установления градуировочной характеристики при определении концентрации сажи

| Номер суспензии для градуировки | Объем рабочей суспензии, мл ($\rho = 40$ мкг/мл) | Объем раствора для разбавления, мл | Масса техуглерода в 5 мл суспензии, мкг |
|---------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1 | 0,5 | 4,5 | 20 |
| 2 | 1,0 | 4,0 | 40 |
| 3 | 1,5 | 3,5 | 60 |
| 4 | 2,0 | 3,0 | 80 |
| 5 | 2,5 | 2,5 | 100 |
| 6 | 3,0 | 2,0 | 120 |
| 7 | 3,5 | 1,5 | 140 |
| 8 | 4,0 | 1,0 | 160 |
| 9 | 4,5 | 0,5 | 180 |
| 10 | 5,0 | — | 200 |

Массовую концентрацию сажи в исследуемом объеме воздуха мкг/л (мг/м^3) находят по формуле

$$C = m/V_a,$$

где C — концентрация сажевого аэрозоля в воздухе, мкг/л (мг/м^3);

m — масса сажевого аэрозоля в анализируемом объеме суспензии, определяемая по градуировочному графику, мкг;

V_a — объем воздуха (л), взятого на анализ.

Вместо графика для определения массы сажи в пробе можно использовать коэффициент пересчета k , рассчитанный как котангенс угла наклона градуировочной характеристики к оси x , т. е. k — это обратный угловой коэффициент градуировочного графика. Градуировочный график (рис. 3) описывается уравнением

$$y = 0,0076x + 0,0201,$$

где y — оптическая плотность D ,

x — концентрация C ,

$0,0076$ — угловой коэффициент градуировочного графика (tg угла наклона),

0,0201 — поправочный коэффициент (численно близок к величине оптической плотности нулевой пробы).

Используя известное значение углового коэффициента находим коэффициент пересчета $k = 1/0,0076 = 131$, по которому масса сажи в данной пробе рассчитывается по формуле

$$m_i = D_i \cdot k,$$

где m_i — масса сажи в i -ой суспензии (мкг),

D_i — оптическая плотность i -ой суспензии.

Для серии измерений содержания сажи в 5 мл пробы в интервале значений масс, заданных градуировочным графиком (рис. 3), величина k является постоянной. При отборе рекомендуемой пробы воздуха (600 л) нижний предел обнаружения составил $0,03 \text{ мг/м}^3$, а диапазон измерений массовой концентрации сажи равен $0,03—0,3 \text{ мг/м}^3$.

Для подтверждения достоверности данных, полученных с помощью фотометрической методики, была проведена серия из девятнадцати параллельных экспериментов по сравнению результатов метода с показаниями эталонного прибора. Сравнительные эксперименты были выполнены с использованием стационарного семиволнового аэталометра АЕ-33. Значения массовой концентрации сажи, полученные с помощью фотометрической методики, сравнивались со средним значением массовой концентрации сажевого аэрозоля, полученным в ходе суточного цикла измерений аэталометра. Отбор проб сажи на аэрозольные фильтры проводили в течение 24 ч с расходом воздуха 38 л/мин с помощью пробоотборного устройства Derenda LVS 3.1, снабженного встроенным фильтродержателем. Общий объем пробы воздуха, отобранный в ходе каждого сравнительного эксперимента, составил $54,7 \text{ м}^3$. Сравнительные эксперименты проводились на стационарном посту наблюдений за загрязнением атмосферы при ГГО. Результаты сравнительных испытаний, представленные в табл. 2, показывают, что максимальное расхождение показаний фотометрической методики и аэталометра составило $23,1 \%$, что свидетельствует о приемлемой сходимости результатов измерений, полученных двумя методами.

Таблица 2

**Сравнение результатов фотометрической методики с показаниями
аэталометра АЕ-33**

| Дата отбора пробы | Массовая концентрация сажи, мкг/м ³ | | Расхождение результатов фотометрической методики и аэталометра, % |
|----------------------|------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| | Фотометрический метод | Аэталометр АЕ33 | |
| 31.03.14 | 0,84 | 0,71 | 18,6 |
| 02.04.14 | 1,72 | 1,92 | 10,5 |
| 07.04.14 | 1,79 | 1,69 | 5,9 |
| 09.04.14 | 0,91 | 0,75 | 21,3 |
| 11.04.14 | 1,60 | 1,90 | 15,8 |
| 14.04.14 | 1,58 | 1,39 | 13,4 |
| 15.04.14 | 1,81 | 1,61 | 12,5 |
| 17.04.14 | 2,16 | 1,78 | 21,4 |
| 18.04.14 | 1,92 | 1,56 | 22,8 |
| 22.04.14 | 1,47 | 1,83 | 19,7 |
| 23.04.14 | 0,97 | 0,83 | 16,3 |
| 24.04.14 | 1,92 | 1,72 | 11,8 |
| 25.04.14 | 1,87 | 1,58 | 18,7 |
| 07.05.14 | 1,64 | 1,33 | 23,1 |
| 13.05.14 | 1,23 | 1,54 | 20,2 |
| 15.05.14 | 2,24 | 1,88 | 18,9 |
| 19.05.14 | 2,83 | 2,31 | 22,5 |
| 21.05.14 | 2,43 | 2,09 | 16,3 |
| 26.05.14 | 0,95 | 1,11 | 14,1 |

Данные сравнительных экспериментов указывают на незначительный вклад других аэрозольных составляющих в величину оптической плотности анализируемых суспензий, что можно объяснить максимальным «зачерняющим» эффектом сажевой компоненты аэрозоля. Разработанная фотометрическая методика определения сажевого аэрозоля может представлять интерес для лабораторий мониторинга загрязнения атмосферы, проводящих серийные анализы по определению содержания сажи в атмосферном воздухе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.1338-03. (2003) Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.

Емиленко А. С., Копейкин В. М. (2009). Сравнение синхронных измерений концентрации сажи и субмикронного аэрозоля в регионах с различной степенью антропогенной нагрузки // *Оптика атмосферы и океана*. Т. 22. № 6. С. 535—540.

Киреева Е. Д., Поповичева О. Б., Тимофеев М. А., Шония Н. К. (2011). Физикохимия углеродсодержащих аэрозолей эмиссии морских кораблей // *Оптика атмосферы и океана*. Т. 24. № 6. С. 459—467.

Козлов В. С., Шмаргунов В. П., Панченко М. В. (2009). Сезонная изменчивость вертикальных профилей поглощающих характеристик субмикронного аэрозоля в тропосфере // *Оптика атмосферы и океана*. Т. 22. № 7. С. 635—642.

Козлов В. С., Панченко М. В., Яушева Е. П. (2010). Субмикронный аэрозоль и сажа приземного слоя в суточном ходе // *Оптика атмосферы и океана*. Т. 23. № 7. С. 561—569.

Копейкин В. М., Репина И. А., Гречко Е. И., Огородников Б. И. (2010). Измерение содержания сажевого аэрозоля над водной поверхностью в южном и северном полушариях // *Оптика атмосферы и океана*. Т. 23. № 6. С. 444—450.

Поповичева О. Б., Старик А. М. (2007). Авиационные сажевые аэрозоли: физико-химические свойства и последствия эмиссии в атмосферу (обзор) // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. Т. 43. № 2. С. 147—164.

Руководящий документ. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186-89. (1991). — М.: Гидрометеиздат. 693 с.

Соловьева Т. В., Хрусталева В. А. (1974). Руководство по методам определения вредных веществ в атмосферном воздухе. — М.: Медицина. 300 с.

Armstrong B., Hutchinson E., Unwin J., Fletcher T. (2004). Lung cancer risk after exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons // *Environ. Health Perspect.* V. 112. P. 970—978.

Cape J. N., Coyle M., Dumitrescu P. (2012). The atmospheric lifetime of black carbon // *Atmos. Environ.* V. 59. 256—263.

Janssen N., Gerlofs-Nijland M. E., Lanki T., Salonen R. O., Cassee F., Hoek G., Fischer P., Brunekreef B., Krzyzanowski M. (2012). Health effects of black carbon // Report of the World Health Organization (http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/162535/e96541.pdf).

Kuhn M., Petzold A., Baumgardner D., Schröder F. (1998). Particle composition of a young condensation trail and of upper tropospheric aerosol // *Geophys. Res. Lett.* V. 25. № 14. P. 2679—2682.

Lauer A., Eyring V., Hendricks J., Jockel P., Lohmann U. (2007). Global model simulations of the impact of ocean-going ships on aerosols, clouds, and the radiation budget // *Atmos. Chem. Phys.* V. 7. № 19. P. 5061—5079.

Lohmann U., Kärcher B., Hendricks J. (2004). Sensitivity studies of cirrus clouds formed by heterogeneous freezing in the ECHAM GCM // *J. Geophys. Res. Atmosph.* V. 109. D16204.

Painter T. H., Flanner M. G., Kaser G., Marzeion B., VanCuren R. A., Abdalati W. (2013). End of the Little Ice Age in the Alps forced by industrial black carbon // *PNAS.* V. 110. № 38. P. 15216—15221.

Park S. S., Hansen A. D. A., Cho S. Y. (2010). Measurement of real time black carbon for investigating spot loading effects of Aethalometer data // *Atmos. Environ.* V. 44. P. 1449—1455.

Petzold A., Strom J., Ohlsson S., Schröder F. (1998). Elemental composition and morphology of ice-crystal residual particles in cirrus clouds and contrails // *Atmos. Res.* V. 49. № 1. P. 21—34.

Sandradewi J., Prévot A. S. H., Weingartner E., Schmidhauser R., Gysel M., Baltensperger U. (2008). A study of wood burning and traffic aerosols in an Alpine valley using a multi-wavelength Aethalometer // *Atmos. Environ.* V. 42. P. 101—112.

Ström J., Ohlsson S. (1998). In situ measurements of enhanced crystal number densities in cirrus clouds caused by aircraft exhaust // *J. Geophys. Res. Atmos.* V. 103. P. 11355—11361.

МОНИТОРИНГ ПРОЗРАЧНОСТИ АТМОСФЕРЫ: РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ (Обзор)

Е. Л. Махоткина¹, И. Н. Плахина²

¹Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова
194021 Санкт-Петербург, ул. Карбышева, д. 7

²Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН
119017 Москва, Пыжевский пер, д. 3
E-mail: makhotk@mail.ru, inna@ifaran.ru

Поступила в редакцию 5.06.2014
Поступила после доработки 10.09.2014

Введение

Мониторинг окружающей среды — это комплексная система наблюдений за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов (Федеральный закон, 2002). Происходящие в последние десятилетия изменения глобального климата определяют интерес к изучению динамики различных климатических факторов как на планете в целом, так и в регионах. Солнечная радиация, как элемент климатической системы, воздействует на энергетику системы Земля-атмосфера и основные параметры, с которыми связываются происходящие климатические изменения.

Мониторинг параметров, характеризующих изменения климата Земли, основан на многолетних наблюдениях в атмосфере и океане. Наблюдаемые изменения климата Земли нашли широкое отражение в многочисленных национальных и международных исследованиях (IPCC, 2001, 2007, 2013; Оценочный доклад, 2008, 2014).

Классики российской науки уже давно указали, что изменения солнечной радиации, обусловленные нестабильностью прозрачности

(мутности) атмосферы являются существенным фактором изменений климата. Согласно оценкам академика М. И. Будыко при изменении радиации на 1 % средняя температура у земной поверхности при постоянном альбедо изменяется на 1,2—1,5 °С (Будыко, 1977). Ключевая роль атмосферного аэрозоля как климатообразующего фактора рассмотрена академиком К. Я. Кондратьевым в обзоре о роли атмосферного аэрозоля в климатообразующих процессах (Кондратьев, 2004).

Проблеме глобальных изменений солнечной радиации, приходящей к подстилающей поверхности, посвящен целый ряд серьезных исследований (Alpert et al., 2005; Kishcha et al., 2008, 2009; Norris, Wild, 2007, 2009; Ohmura, 2006; Wang et al., 2009; Wild, 2009, 2010, 2012; Хлебникова, Салль, 2014). Изменения радиации, происходящие под воздействием определяющих факторов, в работе М. Wild (2012) представлены в виде схемы (рис. 1) для двух периодов: 1950—1980 гг. (период аэрозольного «помутнения» — “DIMMING”) и 1980—2000 гг. (период аэрозольного «просветления» атмосферы — “BRIGHTENING”). В период аэрозольного «помутнения» уменьшение суммарной радиации SSR (-4 Вт/м^2), приходящей к поверхности Земли, возможно связанное с увеличением количества аэрозоля в атмосфере, могло компенсировать увеличение нисходящего длинноволнового излучения $LW\downarrow$ ($+2 \text{ Вт/м}^2$), обусловленного парниковым эффектом, что могло эффективно тормозить глобальное потепление, вызывая несколько меньшее восходящее длинноволнового излучение на $LW\uparrow$ ($+1 \text{ Вт/м}^2$). В результате происходило уменьшение радиационной энергии, приходящей к поверхности Земли, ослабление испарения и его энергетического эквивалента — скрытой теплоты испарения LH (-3 Вт/м^2), что вело к подавлению водного цикла. С переходом от аэрозольного «помутнения» к «просветлению» в 1980—2000 гг. усиливающийся парниковый эффект более не маскировался аэрозолями, вызывал более быстрое нагревание пограничного слоя атмосферы, более интенсивное испарение LH ($+3 \text{ Вт/м}^2$) и интенсификацию водного цикла.

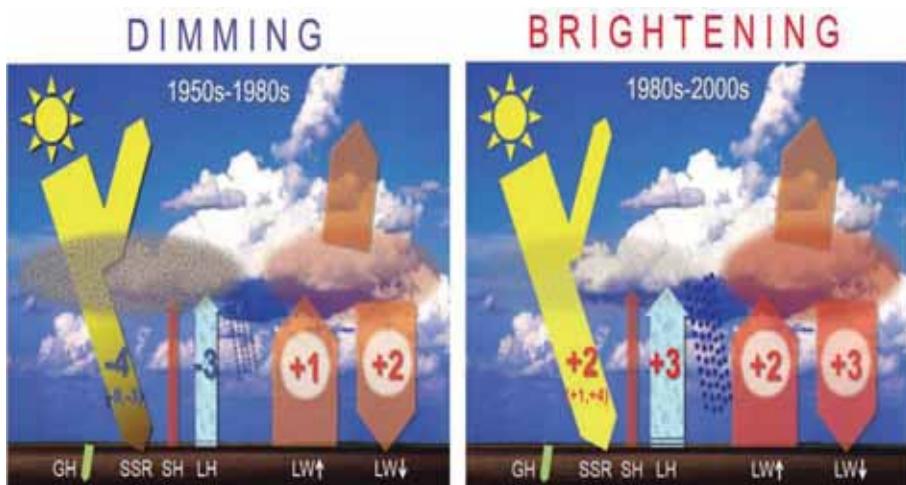


Рис. 1. Схема соотношений составляющих радиационного и теплового баланса у подстилающей поверхности для периодов аэрозольного «помутнения» (1950—1980 гг.) и аэрозольного «просветления» атмосферы (1980—2000 гг.) (Wild, 2012).

Региональные аспекты изменений солнечной радиации в различных странах подробно рассматриваются в работах отечественных и зарубежных исследователей (Power, 2003; Wild et al., 2009, Ohmura, 2009; Ohvri et al., 2009; Самукова и др., 2014). Например, в упоминавшейся работе М. Wild (2012) оценки изменения приходящей солнечной радиации получены для различных стран и европейского континента по данным отдельных станций (табл.1).

Изменения приходящей солнечной радиации в период 1950—1980 гг. отражают бурный промышленный рост в послевоенные 10-тилетия; данные за 1980—2000 гг. обусловлены внедрением технологий очищения выбросов в развитых странах и частичным переносом производств в Азию; результаты в колонке «после 2000 г.» соответствуют промышленному росту в Азиатском регионе.

Таблица 1

Тенденции изменения суммарной солнечной радиации по данным наблюдений (Wild, 2012)

| | 1950s-1980s | 1980s-2000 | after 2000 |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| USA | -6  | 5  | 8  |
| Europe | -3  | 2  | 3  |
| China/Mongolia | -7  | 3  | -4  |
| Japan | -5  | 8  | 0  |
| India | -3  | -8  | -10  |

Примечание: числами обозначены величина и знак тенденции (Вт/м² за 10 лет).

В последние десятилетия особое внимание уделяется изучению аэрозольного ослабления солнечной радиации вообще и роли аэрозоля в короткопериодных и долгопериодных изменениях прихода солнечной радиации в частности. Многочисленные исследования показали, что тропосферный аэрозоль антропогенного происхождения может оказывать существенное влияние на радиационный баланс системы Земля—атмосфера. При этом он способен вызывать двоякое воздействие: аэрозоль поглощает и рассеивает в атмосфере солнечную радиацию (прямой эффект) и изменяет оптические свойства облаков в результате воздействия на распределение облачных капель по размерам за счет формирования дополнительных ядер конденсации (косвенный эффект). О значении влияния аэрозольного эффекта на климат свидетельствует также тот факт, что в докладе IPCC (2013) приведена схема воздействия атмосферного аэрозоля на солнечную радиацию и температуру подстилающей поверхности (рис. 2).

Aerosol-radiation interactions

Scattering aerosols

(a)



Aerosols scatter solar radiation. Less solar radiation reaches the surface, which leads to a localised cooling.

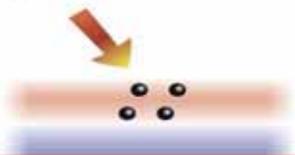
(b)



The atmospheric circulation and mixing processes spread the cooling regionally and in the vertical.

Absorbing aerosols

(c)



Aerosols absorb solar radiation. This heats the aerosol layer but the surface, which receives less solar radiation, can cool locally.

(d)



At the larger scale there is a net warming of the surface and atmosphere because the atmospheric circulation and mixing processes redistribute the thermal energy.

Рис. 2. Схема воздействия атмосферного аэрозоля на солнечную радиацию и температуру подстилающей поверхности (IPCC, 2013)
а, б — действие рассеивающего аэрозоля (минеральный, морской, сульфатный), вызывающего охлаждение приземного слоя;
с, d — действие поглощающего аэрозоля (органика, сажа), вызывающего нагревание приземного слоя.

На представленной схеме в случае (а) показано, что аэрозоль рассеивает нисходящую солнечную радиацию, уменьшая её приход к подстилающей поверхности и вызывая локальное охлаждение приземного слоя воздуха и подстилающей поверхности. В случае (б) циркуляционные процессы переноса и перемешивания в атмосфере способствуют распространению области охлаждения в горизонтальном и вертикальном направлениях. На схеме (с) рассмотрен случай аэрозоля, поглощающего солнечную радиацию. Аэрозольный слой при этом нагревается, а подстилающая поверхность, получающая меньше солнечной радиации, и нижележащий слой локально охлаждается. В случае (d) на больших

пространствах нагревание поверхности и атмосферы происходит вследствие циркуляционных процессов перемешивания и переноса, перераспределяющих тепловую энергию на больших пространствах.

В настоящее время информационную основу мониторинга прозрачности атмосферы составляют данные различных наблюдательных систем: от традиционной наземной актинометрической сети до сети AERONET, спутникового мониторинга и модельных построений. На начальных этапах исследований внимание специалистов было сосредоточено на изучении интегральной прозрачности (мутности) атмосферы, в последние десятилетия на первый план вышла задача регулярного и систематического изучения современного состояния и долговременных изменений аэрозольной мутности атмосферы (аэрозольной оптической толщины).

В предлагаемом обзоре анализируются и сопоставляются различные системы получения данных о прозрачности атмосферы для мониторинга и выявления тенденций в изменениях мутности атмосферы различных регионов.

Наземные актинометрические наблюдения для мониторинга составляющих радиационного баланса

Выполняемые на наземных станциях актинометрические наблюдения обеспечивают получение информации о прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации и радиационном балансе или его составляющих. По данным этих наблюдений осуществляется слежение за изменениями во времени солнечной радиации (преимущественно суммарной) в различных регионах мира. Так, в работах (Житорчук и др., 1994; Abakumova et al., 1996) для территории России было выявлено уменьшение суммарной радиации в период 1950—1990 гг. Это явление, установленное для многих регионов, получило название “global dimming” (Stanhill, Cohen, 2001). В последние десятилетия по данным наблюдений было установлено,

что снижение суммарной радиации сначала прекратилось, а затем сменилось некоторым ее ростом “brightening” (Ohmura et al., 1998; Wild et al., 2005; Ohmura, 2006), что представлено на рис. 3.

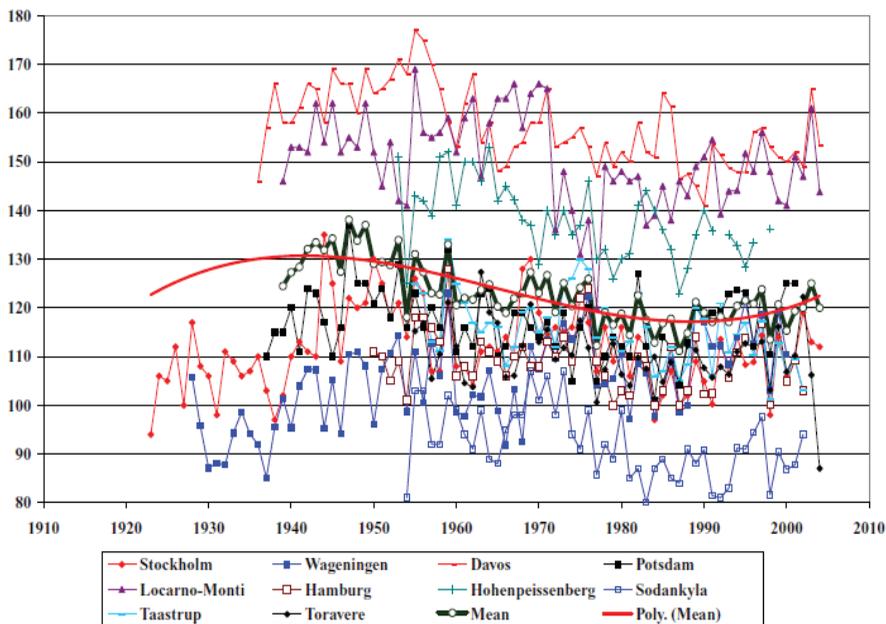


Рис. 3. Суммарная солнечная радиация (среднегодовые величины) для 10-и европейских станций по наблюдениям за 50 лет (Ohmura, 2006). Чёрная кривая — среднее для 10 станций, красная кривая — степенная аппроксимация.

Несмотря на возросший в последние годы интерес к изменениям солнечной радиации (Wild, 2010), анализ таких изменений на регулярной основе не проводится. В отличие от этого по данным актинометрической сети Росгидромета слежение за климатическими изменениями составляющих радиационного баланса с 2010 г. осуществляется ежегодно (Доклад, 2011). Методика подготовки

материалов для раздела «Радиационный режим» изложена в работе Е. И. Хлебниковой и И. А. Салль (2014). Аналитический обзор об изменениях солнечной радиации представляется также в главе «Облачность и радиационный режим» Оценочного доклада об изменениях климата (Оценочный доклад, 2008, 2014).

Информационные системы мониторинга прозрачности атмосферы

Прозрачность атмосферы — способность атмосферы пропускать направленное излучение. Данные о прозрачности несут в себе информацию о состоянии атмосферы и протекающих в ней процессах как естественного (циркуляция атмосферы, вулканические извержения, лесные пожары, пыльные бури), так и антропогенного происхождения.

Определение характеристик прозрачности непосредственно из результатов измерений прямой солнечной радиации затруднено, т. к. прямая солнечная радиация зависит не только от степени прозрачности атмосферы, но и от облачности, высоты солнца над горизонтом, расстояния между Землей и Солнцем.

Для количественного выражения прозрачности атмосферы используются разные характеристики, подробный анализ которых содержится в монографиях С. И. Сивкова (1968) и К. Я. Кондратьева (1965). В нашей стране наибольшее распространение получили коэффициент прозрачности P_2 при относительной массе атмосферы $m = 2$, и фактор мутности T_2 (также при $m = 2$). Методика расчета указанных характеристик разработана С. И. Сивковым; впоследствии Т. В. Евневич и И. А. Савиковский предложили для расчета указанных характеристик аналитические выражения (Евневич, Савиковский, 1989).

В соответствии с рекомендациями (РД, 1997) для расчета характеристик прозрачности используются только результаты измерений прямой солнечной радиации, выполненные при высоте

Солнца не менее $6,8^\circ$ при отсутствии на солнечном диске и в околосолнечной зоне неба облаков и их следов.

Измерения прямой солнечной радиации, необходимые для определения характеристик прозрачности атмосферы, проводятся:

— на 90 актинометрических станциях, выполняющих наблюдения по программе срочных наблюдений в 6 стандартных сроков (0 ч 30 мин, 6 ч 30 мин, 9 ч 30 мин, 12 ч 30 мин, 15 ч 30 мин, 18 ч 30 мин по среднему солнечному времени);

— на 40 актинометрических станциях, выполняющих непрерывную круглосуточную регистрацию составляющих радиационного баланса.

Анализ состояния прозрачности атмосферы на выборочных станциях России представляется в таких ежегодно выпускаемых Росгидрометом изданиях, как Обзор фонового состояния окружающей природной среды на территории стран СНГ и Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации (<http://www.igce.ru/category/informacionnye-produkty-obzory-doklady-i-dr>).

В соответствующих разделах Обзоров приводятся данные о коэффициенте прозрачности атмосферы P_2 и оптической плотности атмосферы ОАП для 8-и станций, работающих по программе фонового мониторинга атмосферы с 1972 г. (Русина и др., 1998; Русина, Радионов, 2002). Данные представляются в табличной и графической форме и сопровождаются развернутым анализом особенностей изменения характеристик прозрачности за год, предшествующий публикации. Указанные Обзоры предназначены для государственных и общественных организаций, заинтересованных в получении и использовании информации о состоянии природной среды, а также для специалистов, работающих в области охраны окружающей природной среды.

В качестве одного из основных параметров, определяющих воздействие аэрозоля на солнечную радиацию, в радиационных блоках климатических моделей используется такая характеристика,

как аэрозольная оптическая толщина (АОТ) атмосферы. Задача регулярного и систематического изучения современного состояния и долговременных тенденций изменения аэрозольной мутности атмосферы представляется одной из основных при оценке происходящих климатических изменений.

Использование данных стандартных актинометрических наблюдений для изучения аэрозоля стало возможным благодаря разработанной специалистами Института физики атмосферы им. А. М. Обухова (ИФА РАН) и Метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ) методике расчета АОТ (τ_{a,λ_0}) для эффективной длины волны $\lambda_0 = 550$ нм (Тарасова, Ярхо, 1991). Выполненные авторами методики оценки влияния неопределённости входных параметров (прямой солнечной радиации S , влагосодержания атмосферы w , а также показателя спектрального ослабления n) на точность расчета τ_{a,λ_0} показали, что абсолютная погрешность определения τ_{a,λ_0} в среднем составляет 0,02, достигая в отдельных случаях (при определенном сочетании параметров) 0,05 (Горбаренко, 1997; Тарасова, Ярхо, 1991).

Применение этой методики позволяет получать по данным стандартных актинометрических наблюдений качественно новую информацию об уровне аэрозольного загрязнения атмосферы. Временные ряды для целей мониторинга могут быть сформированы для 70 актинометрических станций России. Для получения текущих оценок АОТ в последние годы привлекаются данные 90—95 станций.

Сеть AERONET

Глобальная сеть AERONET (Aerosol Robotic Network) — одна из наиболее распространенных сетей автоматизированного наземного мониторинга атмосферы. Она действует с 1999 года, число ее станций постепенно увеличивается. Данная сеть развернута для получения в режиме реального времени больших объемов данных, их накопления

и последующей обработки. Одной из целей обработки данных является получение информации о распределении аэрозоля по земному шару. Данные наблюдений используются для построения региональных и глобальных аэрозольных моделей атмосферы. В последнее время они находят применение при проведении валидации спутниковых продуктов (Hsu et al., 2012; Sayer et al., 2012).

Измерения оптических параметров атмосферы осуществляются с помощью солнечных фотометров CIMEL. Для определения АОТ измерения проводятся на 7-и длинах волн в области 0,30—1,05 мкм. Специалистами NASA проводится предварительная селекция наблюдательного материала с целью исключения из дальнейшего рассмотрения данных измерений яркости при наличии разрывной облачности на небосводе (Smirnov et al., 2000). Данные наблюдений открыты для свободного доступа (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>).

В сеть AERONET входят 9 станций России, из которых 2 станции расположены на территории ЕТР и 7 — на АТР:

| № | Станция | Период работы |
|---|--------------|-----------------------|
| 1 | Звенигород | 2007 — по наст. время |
| 2 | Москва, МГУ | 2001 — по наст. время |
| 3 | Екатеринбург | 2004 — по наст. время |
| 4 | Томск | 2002 — по наст. время |
| 5 | Красноярск | 2001 — 2002 |
| 6 | Уссурийск | 2005 — по наст. время |
| 7 | Тикси | 2010 — по наст. время |
| 8 | Якутск | 2002 — по наст. время |
| 9 | Иркутск | 2004 — по наст. время |

Анализ рядов данных АОТ₅₀₀ требует специального рассмотрения. Для примера на рис. 4 приведен ход месячных значений АОТ₅₀₀ на пяти российских станциях AERONET. В целом, несмотря на наличие отдельных выбросов, данные согласуются между собой.

Среди представленных результатов обращают на себя внимание данные станции Уссурийск, на которой в 2006, 2008 и 2009 гг. зафиксированы очень высокие значения АОТ₅₀₀, в отдельных случаях превышающие 0,7. В последние годы на данной станции резкие

выбросы АОТ не отмечаются, но уровень аэрозольной мутности по сравнению с другими станциями региона остается высоким.

Регулярные наблюдения по программе AERONET, проводимые в метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ) с сентября 2001 г. (Улюмжинова и др., 2005; Абакумова, Горбаренко, 2008) предоставили возможность для сравнения аэрозольной оптической толщины атмосферы (АОТ), измеренной солнечным фотометром CIMEL, с АОТ, рассчитанной по данным измерений интегральной прямой солнечной радиации по методике Т. А. Тарасовой и Е. В. Ярхо (1991). Сравнения показали, что при значениях АОТ не превышающих 0,5, разность между этими двумя методами лежит в пределах точности определения АОТ и в 85 % общего числа случаев составляет менее 0,02. При значениях АОТ больше 0,5 рассчитанные значения АОТ оказываются заниженными в среднем на 30 % (Абакумова и др., 2006; Абакумова, Горбаренко, 2008).

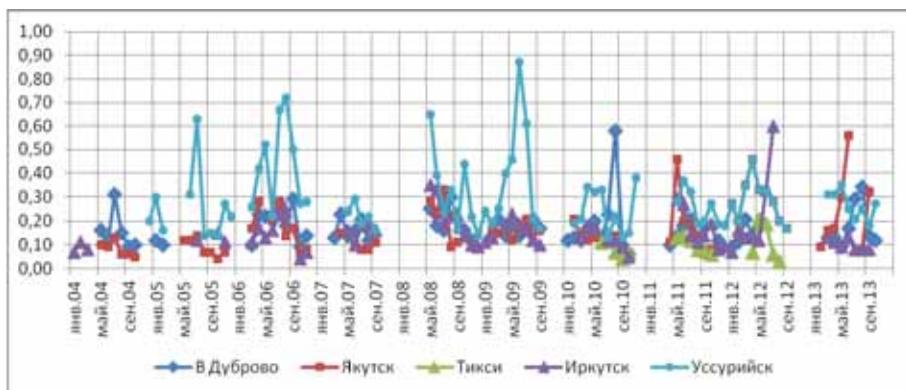


Рис. 4. Результаты измерений АОТ₅₀₀ (месячные значения) на российских станциях AERONET.

При сопоставлении данных об АОТ, рассчитанных по данным актинометрических станций байкальского региона, с данными сети AERONET за период 2004—2007 гг. расхождения оказались заметно выше (Махоткина и др., 2010), что объясняется в первую очередь тем,

что сравниваемые данные были получены в разных точках. В настоящее время сопоставление двух методик может быть выполнено для пунктов Екатеринбург, Якутск, Иркутск, однако неопределенность, связанная с тем, что наблюдения проводятся на разных площадках, существует. Пример сопоставления измеренных и рассчитанных АОТ для станций Екатеринбург — Верхнее Дуброво приведен на рис. 5.

Несомненно, спектральные наблюдения позволяют получать более подробные данные об оптических свойствах аэрозоля, однако это не исключает использования рядов наблюдений за прямой солнечной радиацией для оценки тенденции в изменениях АОТ на различных территориях.

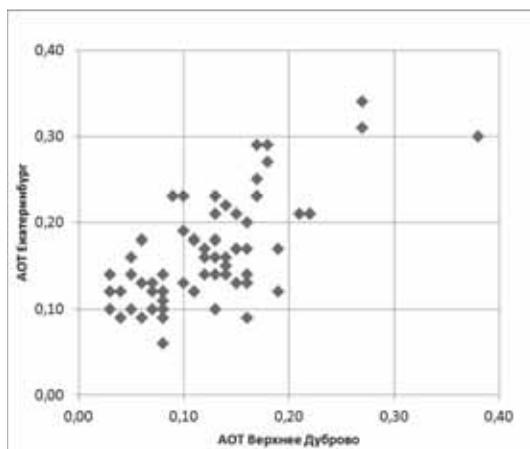


Рис. 5. Сопоставление АОТ и АОТ₅₀₀ для станций Екатеринбург — Верхнее Дуброво (2004—2013 гг.).

Спутниковые наблюдения

Получение регулярных данных об АОТ представляет собой неотъемлемую часть спутникового мониторинга поверхности Земли. Использование на спутниках специальной аппаратуры MODIS

(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) позволило получать информацию о свойствах аэрозоля в глобальном масштабе. Первый запуск состоялся в декабре 1999 г. (Terra platform), второй — в мае 2002 года (Aqua platform). К достоинствам спутниковых наблюдений следует отнести широкую область спектра, высокое пространственное разрешение, почти ежедневное глобальное покрытие территории Земли. Над сушей измерения проводятся в спектральной области 0,47—2,13 мкм на семи длинах волн. При этом измеряются спектральная АОТ и параметры размеров частиц, солнечная радиация, отраженная от верхней границы атмосферы.

Над океаном измерения выполняются на 3-х длинах волн в области спектра 0,41—15 мкм с целью получения информации об АОТ, массовой концентрации и эффективном радиусе частиц, доле мелких частиц.

Сравнение данных спутниковых наблюдений (аппаратура MODIS) и наземной сети AERONET (фотометр CIMEL) по выборке объемом 8000 случаев показали, что расхождение (Δ АОТ) составляет над океаном $\pm 0,03 \pm 0,05$ АОТ, над сушей $\pm 0,05 \pm 0,15$ АОТ (Remer et al., 2004; http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/MOD04_L2/index.html).

Эти оценки свидетельствуют об удовлетворительной согласованности средних значений характеристик аэрозоля, разброс (дисперсия) которых обусловлена искажающим влиянием атмосферы и подстилающей поверхности.

Спутниковые системы наблюдений высоко эффективны для мониторинга газового состава и содержания аэрозолей в атмосфере. Современные спутники позволяют выявлять очаги возгорания, территории, охваченные пожарами и задымлением. Получаемые с использованием аппаратуры MODIS карты дают не только пространственную картину, но и количественные оценки АОТ. Пример карт пространственного распределения АОТ над ЕТР, полученных по спутниковым данным, приведен на рис. 6.

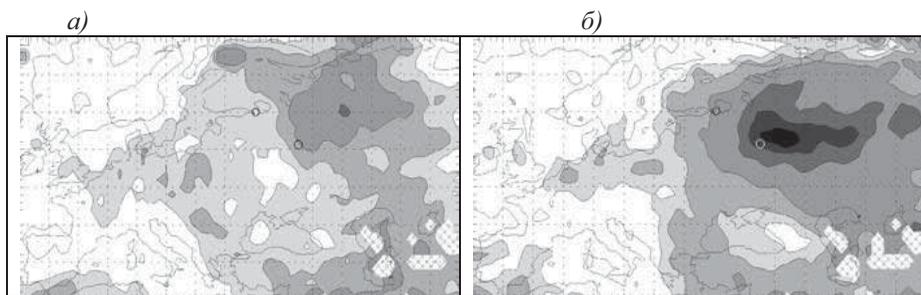


Рис. 6. Пространственное распределение АОТ 21—31 июля (а) и 1—10 августа (б) 2010 г. (Ситнов, 2011а)

область широт: от 10° з. д. до 65° в. д., область долгот: от 35° до 70° с. ш.,
АОТ варьирует от 0 до 2.

Эффективность привлечения спутниковой информации для оценки и анализа пространственно-временных изменений аэрозольной оптической толщины атмосферы в периоды мощных пожаров и дымной мглы наглядно продемонстрирована в работах С. А. Ситнова (2011а, 2011б, 2012). При этом автор подчеркивает, что мультиинструментальный подход дает более полное представление о процессах изменения аэрозольного и газового состава атмосферы, чем анализ данных отдельных наблюдательных систем.

Данных сети AERONET оказывается недостаточно для обеспечения надежного восстановления АОТ по спутниковым данным для конкретных территорий, в частности, для России. Наиболее надежный путь получения информации об АОТ состоит в комбинированном использовании спутниковых и наземных наблюдений. Данные актинометрических наблюдений, выполняемых на сети Росгидромета, могут быть привлечены для получения дополнительной и регулярной информации о пространственно-временной изменчивости АОТ. Такая информация необходима в первую очередь для совершенствования оптических моделей оптически активных атмосферных компонентов и повышения

надежности расчетов передаточного оператора атмосферы (Покровский, 2003).

Результаты мониторинга прозрачности атмосферы по данным наземных измерений

В нашей стране изучение режима прозрачности атмосферы было начато в 1920-х годах Н. Н. Калитиным, А. И. Батыгиной, И. Н. Ярославцевым, С. И. Сивковым. Обзор многочисленных исследований, посвященных расчетам ослабления солнечной радиации в атмосфере, приведен в работе (Радиационные характеристики, 1969). На начальных этапах исследований внимание специалистов было сосредоточено на изучении интегральной прозрачности (мутности) атмосферы, расчет характеристик которой выполнялся по данным о прямой солнечной радиации, солнечной постоянной и высоте солнца в момент наблюдения. Из-за использования в расчетах различных значений солнечной постоянной и приведения измеренной радиации к различной высоте Солнца данные о прозрачности атмосферы не всегда оказывались сопоставимыми. Получение на основе результатов актинометрических наблюдений однородных и сопоставимых данных о характеристиках прозрачности стало возможным после того, как С. И. Сивков предложил методику приведения прямой солнечной радиации к высоте Солнца 30° (Сивков, 1968).

Обобщение результатов сетевых актинометрических наблюдений за 1956—1970 гг. позволило З. И. Пивоваровой охарактеризовать режим прозрачности атмосферы для различных физико-географических зон на территории СССР, выявить тенденции в изменении прозрачности атмосферы и роль различных факторов ослабления прямой солнечной радиации (Пивоварова, 1977). В разные годы исследования трендов солнечной радиации и характеристик прозрачности атмосферы проводились на более ограниченном эмпирическом материале для регионов или отдельных станций

(Байкова, 1998; Буфал, 1966; Панова, 1980; Потемкин, 1985; Маршунова и др., 1988; Маршунова, Мишин, 1988; Абакумова, Горбаренко, 2008; Русина, Радионов, 2002; Радионов и др., 1994; Радионов, Русина, Сибир, 2007; Бартенева и др., 1991). Особенности пространственно-временных изменений прозрачности атмосферы на территории России в период 1976—2003 гг. были проанализированы в работе Е. Л. Махоткиной с соавторами (2005).

В последние десятилетия на первый план мониторинга прозрачности атмосферы вышла задача регулярного и систематического изучения современного состояния и долговременных изменений аэрозольной оптической толщины (АОТ).

Для получения данных об АОТ по данным актинометрических наблюдений, выполняемых на сети Росгидромета, стала использоваться методика, разработанная Т. А. Тарасовой и Е. В. Ярхо (1991). Полученные результаты представлены в работах (Ярхо, 1994; Горбаренко, 1997а; Горбаренко 1997б; Горбаренко и др., 2006; Махоткина и др., 2006; Плахина и др., 2007; Горбаренко, 2003; Абакумова, Горбаренко, 2008; Плахина и др., 2011 и т. п.

В течение последних десяти лет исследования пространственно-временных изменений прозрачности, выполняемые специалистами ГГО и ИФА РАН, были поддержаны грантами РФФИ (гранты №№ 03-05-61441, 06-05-65293, 10-05-01086). Результаты этих исследований нашли отражение в Оценочных докладах об изменении климата и их последствиях для территории Российской Федерации (2008, 2014) и ряде статей (Махоткина и др., 2005; Махоткина и др., 2007; Плахина и др., 2007; Плахина и др., 2009; Махоткина и др., 2010; Плахина и др., 2011).

Для ведения мониторинга прозрачности атмосферы в ГГО создана специализированная база данных, содержащая ряды месячных и годовых значений фактора мутности (T_2) и аэрозольной оптической толщины (АОТ) за период с 1976 г. по настоящее время. Для отдельных станций ряды характеристик прозрачности сформированы

с момента начала наблюдений (с 1955—1961 гг.). Указанные ряды регулярно пополняются текущими данными.

На основе станционных рядов были подготовлены ряды T_2 и АОТ для основных регионов России: север, центр, юг ЕТР, Урал, Западная Сибирь, северо-восток, центр, юг АТР, Дальний Восток. Методика расчета характеристик интегральной мутности и аэрозольной оптической толщины атмосферы, общая характеристика рассматриваемых регионов приведена в работе (Махоткина, Плахина, 2005).

Поскольку для большинства актинометрических станций ряды характеристик прозрачности сформированы, начиная с 1976 г., была сделана оценка соотношения средних многолетних значений, рассчитываемых по этим рядам за период 1976—2005 гг., со средними многолетними для базового периода ВМО (1961—1990 гг.). Результаты такого анализа, выполненного для станций с рядами наблюдений продолжительностью около 50 лет, показал, что средние годовые значения за период 1976—2005 гг. оказываются на 1—2 % ниже средних для базового периода ВМО. Аналогичные различия для средних многолетних за отдельные месяцы колеблются в более широких пределах, в зимние месяцы эти различия больше, в летние меньше.

Вследствие вулканических извержений естественный многолетний и годовой ход мутности резко нарушается, поэтому представляет интерес оценивать тенденции изменения мутности не только для реальных, но и для «невозмущенных» условий. Для этого в работе (Махоткина, Плахина, 2005) было предложено анализировать ряды годовых и месячных значений характеристик прозрачности, в которых данные за 1983—1984 гг. и 1992—1993 гг. (годы максимального проявления последствий извержения вулканов Эль Чичон и Пнатубо) были исключены.

Обобщая результаты исследований пространственно-временных изменений мутности атмосферы для территории России, следует констатировать, что для территории в целом характерно уменьшение

интегральной мутности и аэрозольной оптической толщины атмосферы с юга на север и с запада на восток. Эта закономерность проявляется для средних многолетних годовых значений T_2 и АОТ.

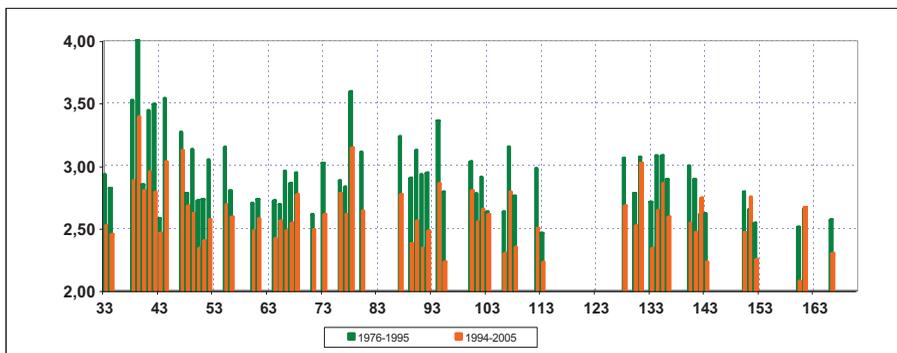


Рис. 6. Изменение средних годовых значений T_2 в зависимости от долготы.

Анализ графиков годовых значений T_2 и АОТ показывает, что для периода 1976—2012 гг. характерна сложная картина временных изменений прозрачности атмосферы.

Изменения T_2 и АОТ происходят как правило синхронно, но АОТ изменяется быстрее, чем T_2 . Резкие повышения мутности, обусловленные проявлением последствий мощных вулканических извержений: Эль Чичон (апрель 1982 г.) и Пинатубо (июнь 1991 г.) в одно и тоже время проявляются в рядах T_2 и АОТ. Однако относительные изменения АОТ в «возмущенных» условиях существенно превышают изменения T_2 . Особенно значительный рост АОТ произошел после извержения вулкана Пинатубо и наблюдался в 1992 г. В период 1994—2011 гг. синхронность изменения T_2 и АОТ в целом ряде регионов нарушается (Север ЕТР, Урал, северо-восток и юг АТР).

Линейная аппроксимация временного хода годовых значений T_2 и АОТ указывает на уменьшение мутности атмосферы, характерное для всего периода в целом. Несмотря на то, что длина рассматриваемых

рядов составляет 37 лет, параметры уравнений регрессии для периодов 1976—2009, 1976—2010, 1976—2011, 1976—2012 гг. оказались близкими, что свидетельствует в первую очередь о стабилизации состояния атмосферы.

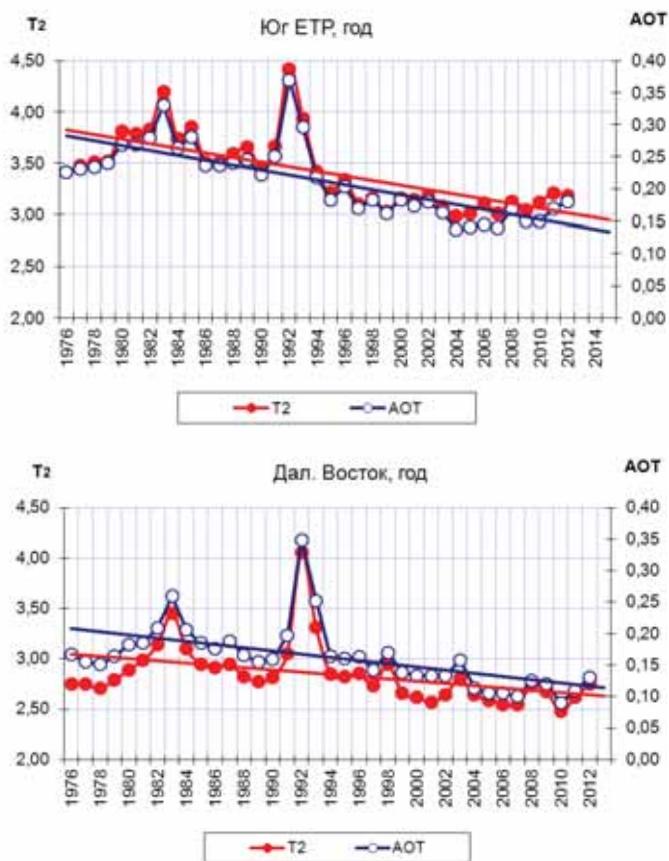


Рис. 7. Изменение T_2 и АОТ за период с 1976 по 2012 гг. на юге ЕТР и Дальнем Востоке.

При рассмотрении рядов T_2 и АОТ для «невозмущенных» условий выявляется та же закономерность. Результаты последних лет (начиная с 2009 г.) не внесли изменений в общие закономерности изменения мутности в регионах России. При этом статистическая значимость тенденций изменения T_2 и АОТ для «невозмущенных» условий (статистическая значимость линейного тренда) существенно выше, чем в реальных условиях.

Изменения T_2 и АОТ в отдельные месяцы вносят различный вклад в итоговый ряд среднегодовых значений.

В табл. 1 приведены оценки относительных изменений T_2 и АОТ по сезонам за 10 лет (соответственно ΔT_2 и $\Delta \text{АОТ}$) для «невозмущенных» условий.

$$\Delta T_2 = a n / T_{2 \text{ ср}}, \quad \Delta \text{АОТ} = a n / \text{АОТ}_{\text{ ср}},$$

где a — коэффициент уравнения линейной регрессии за период 1976—2012 гг.;

n — продолжительность периода, в рассматриваемом случае 10 лет;

$T_{2 \text{ ср}}$, $\text{АОТ}_{\text{ ср}}$ — средние значения характеристик прозрачности за 1976—2005 г. для «невозмущенных» условий.

Во всех регионах России изменения мутности атмосферы имеют сезонный ход, наиболее значительны они зимой и весной. Летом изменения T_2 и АОТ оказываются существенно меньше, чем весной, а в отдельных регионах они вообще не выявляются (например, на севере ЕТР). Осенью изменения, как правило, близки к летним и не превышают их. Единственным регионом, где весной и летом ΔT_2 , и $\Delta \text{АОТ}$ оказываются близкими, является юг ЕТР. На юге АТР и на Дальнем Востоке основной вклад в изменение интегральной и аэрозольной мутности атмосферы вносят зимние и весенние месяцы.

В целой серии статей отмечалось, что с 1994 г. над территорией России атмосфера характеризуется относительно высокой прозрачностью.

Отличие средних многолетних годовых значений T_2 и АОТ для периода 1976—1995 гг. (период, когда происходили вулканические извержения различной мощности) и периода 1994—2012 гг. (период

«очищения атмосферы») по отношению к средним годовым значениям за базовый период (1976—2005 гг. — период продолжительностью 30 лет, по которому принято оценивать средние многолетние значения параметров) приведены в табл. 2.

Таблица 1

Сезонные и годовые изменения T_2 и АОТ за 10 лет

| Регион | зима | весна | лето | осень | год |
|-------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | ΔT_2 | | | | |
| Север ЕТР | -0,03 | -0,05 | 0,00 | 0,00 | -0,02 |
| Центр ЕТР | -0,04 | -0,08 | -0,05 | -0,05 | -0,06 |
| Юг ЕТР | -0,05 | -0,08 | -0,07 | -0,03 | -0,06 |
| Урал | -0,02 | -0,07 | -0,04 | -0,02 | -0,04 |
| Западная Сибирь | -0,04 | -0,04 | -0,02 | 0,00 | -0,03 |
| Северо-восток АТР | -0,03 | -0,03 | 0,01 | 0,00 | -0,01 |
| Центр АТР | -0,03 | -0,06 | -0,02 | -0,03 | -0,04 |
| Юг АТР | -0,03 | -0,04 | -0,02 | -0,02 | -0,03 |
| Дальний Восток | -0,05 | -0,05 | -0,01 | -0,03 | -0,04 |
| | ΔAOT | | | | |
| Север ЕТР | -0,25 | -0,18 | -0,06 | -0,10 | -0,16 |
| Центр ЕТР | -0,21 | -0,20 | -0,14 | -0,17 | -0,17 |
| Юг ЕТР | -0,20 | -0,18 | -0,16 | -0,10 | -0,17 |
| Урал | -0,24 | -0,19 | -0,09 | -0,13 | -0,17 |
| Западная Сибирь | -0,24 | -0,19 | -0,09 | -0,13 | -0,17 |
| Северо-восток АТР | -0,24 | -0,17 | -0,04 | -0,14 | -0,13 |
| Центр АТР | -0,26 | -0,25 | -0,13 | -0,22 | -0,23 |
| Юг АТР | -0,19 | -0,17 | -0,10 | -0,16 | -0,15 |
| Дальний Восток | -0,20 | -0,17 | -0,05 | -0,14 | -0,14 |

Таблица 2

**Аномалии средних годовых значений T_2 и АОТ
за различные периоды**

| Регион | T_{2cp} | ΔT_2 | | АОТ _{cp} | Δ АОТ | |
|-------------------|-----------|--------------|-----------|-------------------|--------------|-----------|
| | | 1976-1995 | 1994-2012 | | 1976-1995 | 1994-2012 |
| Север ЕТР | 2,73 | 0,04 | -0,05 | 0,15 | 0,07 | -0,33 |
| Центр ЕТР | 3,14 | 0,05 | -0,11 | 0,18 | 0,05 | -0,270 |
| Юг ЕТР | 3,49 | 0,05 | -0,10 | 0,23 | 0,13 | -0,26 |
| Урал | 2,85 | 0,05 | -0,08 | 0,15 | 0,13 | -0,33 |
| Западная Сибирь | 2,81 | 0,03 | -0,06 | 0,15 | 0,13 | -0,26 |
| Северо-восток АТР | 2,54 | 0,03 | -0,07 | 0,14 | 0,07 | -0,28 |
| Центр АТР | 2,70 | 0,04 | -0,08 | 0,15 | 0,20 | -0,33 |
| Юг АТР | 2,74 | 0,04 | -0,06 | 0,17 | 0,12 | -0,23 |
| Дальний Восток | 2,90 | 0,03 | -0,07 | 0,17 | 0,12 | -0,23 |

Примечание: $\Delta T_2 = (T_{2\ 1976-1995} - T_{2cp}) / T_{2cp}$; $\Delta T_2 = (T_{2\ 1994-2012} - T_{2cp}) / T_{2cp}$

Δ АОТ = $(\text{АОТ}_{1976-1995} - \text{АОТ}_{cp}) / \text{АОТ}_{cp}$; Δ АОТ = $(\text{АОТ}_{1994-2012} - \text{АОТ}_{cp}) / \text{АОТ}_{cp}$

Средние годовые значения T_2 для регионов колеблются от 2,54 до 3,49, АОТ — от 0,14 до 0,23 (различия экстремальных значений составляет 30 % для T_2 и 40 % для АОТ). Отклонения средних T_2 за отдельные периоды достаточно устойчивы, особенно для периода 1976—1995 гг. и колеблются в пределах 3—5 %. Средние многолетние значения АОТ меняются по территории в достаточно широких пределах, отклонения же от них оказываются более устойчивыми в период 1994—2011 гг.

В период относительно высокой прозрачности атмосферы уменьшение среднегодовых значений T_2 составило от 5 % в северных регионах до 10—11 % в южных регионах России, при этом аэрозольная оптическая толщина снизилась в пределах от 23 до 35 %.

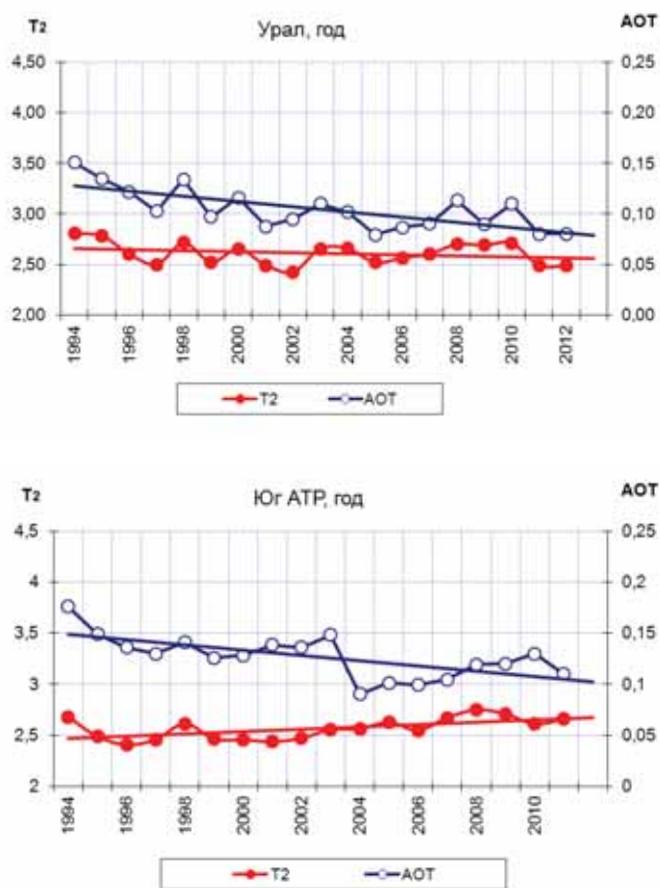


Рис. 8. Изменение годовых значений T_2 и AOT в период 1994—2012 гг.

Продолжительность периода относительно высокой прозрачности атмосферы над территорией России составляет к настоящему времени 18 лет.

В период 1994—2012 гг. в ряде регионов нарушается синхронность в ходе изменения интегральной T_2 и аэрозольной мутности АОТ атмосферы, характерная для периода 1976—2012 гг.

Слабый рост T_2 проявляется в Западной Сибири, на севере ЕТР и северо-востоке АТР, на юге АТР, т. е. в тех регионах, в которых и для периода 1976—2012 гг. изменения интегральной мутности были выражены слабее, чем в других. Аэрозольная мутность атмосферы пока сохраняет тенденцию к убыванию во всех регионах России, хотя в уральском регионе и на северо-востоке АТР в последние годы отмечается некоторый рост годовых значений.

Аэрозольное очищение атмосферы над Россией в период 1994—2010 гг. характеризуется устойчивым понижением мутности атмосферы. В регионах ход аномалий T_2 и АОТ имеет свои особенности. Так на юге ЕТР в период 1994—2010 г. практически не зафиксированы положительные аномалии T_2 , тогда как на юге АТР они отмечаются в последние годы, а на Дальнем Востоке в течение всего рассматриваемого периода наблюдались периоды с положительными аномалиями.

Аналогичные графики для аномалий АОТ дают несколько иную картину, положительные аномалии АОТ отмечаются на Дальнем Востоке, на юге ЕТР и АТР — они фиксируются в отдельные месяцы.

Заключение

В настоящее время информационную основу мониторинга прозрачности атмосферы составляют данные различных наблюдательных систем: от традиционной наземной актинометрической сети до сети AERONET, спутникового мониторинга и модельных построений. Данные, получаемые наземными системами в различных регионах земного шара, в целом согласуются между собой.

По данным наблюдений наземной актинометрической сети основные закономерности пространственно-временного распре-

деления мутности на территории России могут быть сформулированы следующим образом:

В течение последних 40 лет наблюдается сложная картина временных изменений интегральной (T_2) и аэрозольной (АОТ) мутности атмосферы, которые происходят как правило синхронно.

Наиболее высокая прозрачность атмосферы характерна для северных регионов как на азиатской, так и на европейской территории России. На фоне существенной межгодовой изменчивости месячных и годовых значений T_2 и АОТ на большей части территории России в последние десятилетия отмечается тенденция к уменьшению интегральной и аэрозольной мутности атмосферы. С 1994 г. по настоящее время на территории России мутность атмосферы устойчиво ниже нормы, что свидетельствует об очищении атмосферы.

В настоящее время мониторинг прозрачности атмосферы должен осуществляться на основе комплексного использования данных различных наблюдательных систем.

Представленные результаты указывают на важность и актуальность исследований согласованности данных наземного и спутникового мониторинга прозрачности атмосферы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абакумова Г. М. (2002). Тенденции многолетних изменений прозрачности атмосферы, облачности, солнечной радиации и альbedo подстилающей поверхности в Москве // *Метеорология и гидрология*. № 9. С. 51—62.

Абакумова Г. М., Горбаренко Е. В., Чубарова Н. Е. (2006). Оценка точности определения аэрозольной оптической толщины и влагосодержания атмосферы по данным стандартных наблюдений на основании сравнений с измерениями солнечным фотометром CIMEL // В сб.: *Международный симпозиум стран СНГ «Атмосферная радиация» (МСАР-2006)* — СПб.: СПбГУ. С. 43—44.

Абакумова Г. М., Горбаренко Е. В. (2008). Прозрачность атмосферы в Москве за последние 50 лет и её изменения на территории России. — М.: Изд. ЛКИ. 192 с.

Абакумова Г. М., Евневич Т. В., Никольская Н. П. (1983). Влияние города на прозрачность атмосферы. — М.: Изд-во МГУ. 93 с.

Бартенева О. Д., Никитинская Н. И., Сакунов Г. Г., Веселова Л. К. (1991). Прозрачность толщи атмосферы в видимой и инфракрасной области спектра. — Л.: Гидрометеиздат. 223 с.

Будыко М. И. (1977). Глобальная экология. — М.: Изд. «Мысль». 327 с.

Байкова И. М. (1998). Особенности многолетнего изменения коэффициента прозрачности атмосферы и составляющих солнечной радиации в Сибири и на Дальнем Востоке в 1967—1986 годах // Метеорология и гидрология. № 1. С. 29—35.

Буфал В. В. (1966). Радиационный режим котловины оз. Байкал и его роль в формировании климата // Труды Лимнологического института. Т. 10 (30). С. 34—71.

Горбаренко Е. В. (1997а) Аэрозольная составляющая оптической толщины атмосферы как характеристика антропогенного загрязнения воздуха над промышленными центрами // Метеорология и гидрология. № 3. С. 12—18.

Горбаренко Е. В. (1997б). Пространственно-временная изменчивость аэрозольной составляющей оптической толщины атмосферы на территории СССР // Метеорология и гидрология. № 5. С. 36—44.

Горбаренко Е. В. (2003) Аэрозольная мутность атмосферы в Москве в конце XX века // Метеорология и гидрология. № 7. С. 13—18.

Горбаренко Е. В., Ерохина А. Е., Лукин А. Б. (2006). Многолетние изменения аэрозольной оптической толщины атмосферы в России // Метеорология и гидрология. № 7. С. 41—48.

Доклад Росгидромета об особенностях климата на территории России в 2010 г. — М.: Росгидромет. 66 с.

Доклад Росгидромета об особенностях климата на территории России в 2011 г. — М.: Росгидромет. 66 с.

Евневич Т. В., Савиковский И. А. (1989). Расчет прямой солнечной радиации и коэффициента прозрачности атмосферы // Метеорология и гидрология. № 5. С. 106—109.

Кондратьев К. Я. (1965). Актинометрия — Л.: Гидрометеиздат. 691 с.

Кондратьев К. Я. (2004). Атмосферный аэрозоль как климатообразующий компонент атмосферы. Ч. 1. Ч. 2. // Оптика атмосферы и океана. Т. 17. № 1. С. 5—35.

Маришунова М. С., Радионов В. Ф., Цветков А. В. (1988). Длиннопериодные изменения интегральной прозрачности атмосферы Арктики / В сб.: Мониторинг климата Арктики. — Л.: Гидрометеиздат. С. 122—131.

Марицунова М. С., Мишин А. А. (1988). Мониторинг прозрачности атмосферы в полярных областях / В сб.: Мониторинг климата Арктики. — Л.: Гидрометеиздат. С. 132 — 140.

Махоткина Е. Л., Плахина И. Н., Лукин А. Б. (2005). Некоторые особенности изменения мутности на территории России в последней четверти XX века // Метеорология и гидрология. № 1. С. 28—36.

Махоткина Е. Л., Плахина И. Н., Лукин А. Б., Панкратова Н. В. (2006). Анализ годового хода и межгодовой изменчивости аэрозольной оптической толщины атмосферы над территорией России // Исследования Земли из космоса. № 5. С. 63—71.

Махоткина Е. Л., Плахина И. Н., Лукин А. Б. (2010). Выявление изменений интегральной и аэрозольной мутности атмосферы в Забайкалье и Центральной Сибири // Метеорология и гидрология. № 1. С. 53—66.

РД 52.04.562-96 (1997). Наставление гидрометеорологическим станциям и постам / Вып. 5, часть I. Актинометрические наблюдения на станциях. — М.: Росгидромет. 223 с.

Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Том 1. — М.: Росгидромет. 225 с.

Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. — М.: Росгидромет. 226 с.

Панова Г. П. (1980). Спектральная и интегральная прозрачность атмосферы на озере Байкал. — Новосибирск: Наука. 72 с.

Пивоварова З. И. (1977). Радиационные характеристики климата СССР. — Л.: Гидрометеиздат. 335 с.

Плахина И. Н., Махоткина Е. Л., Панкратова Н. В. (2007). Вариации аэрозольной оптической толщины атмосферы на территории России в 1976—2003 гг. // Метеорология и гидрология. № 2. С. 19—29.

Плахина И. Н., Махоткина Е. Л., Панкратова Н. В. (2009). Вариации аэрозоля в толще атмосферы по данным российской актинометрической сети (1976—2006 гг.) // Известия РАН. Физика атмосферы и океана Т. 45. № 4. С. 489—500.

Плахина И. Н., Панкратова Н. В., Махоткина Е. Л. (2011). Пространственные вариации фактора мутности атмосферы над Европейской территорией России в условиях аномального лета 2010 г. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. Т. 47. № 6. С. 1—6.

Покровский О. М. (2003). Композиция наблюдений атмосферы и океана. — СПб.: Гидрометеиздат. 323 с.

Потемкин В. Л. (1985). Радиационные процессы в озерных котловинах. — Новосибирск.: Наука СО. 133 с.

Радиационные характеристики атмосферы и ее поверхности (1969) / Под ред. Кондратьева К.Я. — Л.: Гидрометеиздат. 564 с.

Радионов В. Ф., Маршунова М. С., Русина Е. Н., Лубо-Лестниченко К. Е., Пиманова Ю. Е. (1994). Аэрозольная мутность атмосферы в полярных районах // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. Т. 30. № 6. С. 797—801.

Радионов В. Ф., Русина Е. Н., Сибир Е. Е. (2007). Специфика многолетней изменчивости суммарной солнечной радиации и характеристик прозрачности атмосферы в полярных областях // Проблемы Арктики и Антарктики. № 76. С. 131—136.

Русина Е. Н., Боброва В. К., Ломакин М. В. (1998). Результаты контроля аэрозольного ослабления на российских станциях фонового мониторинга // Труды ГГО. Вып. 549. С. 157—170.

Русина Е. Н., Радионов В. Ф. (2002). Оценка “доиндустриальной” оптической толщины атмосферы при полярной дымке в Арктике и современного вклада антропогенных выбросов // Метеорология и гидрология. № 5. С. 35—39.

Самукова Е. А., Горбаренко Е. В., Ерохина А. Е. (2014). Многолетние изменения солнечной радиации на территории Европы // Метеорология и гидрология. № 8. С. 15—24.

Сивков С. И. (1968). Методы расчета характеристик солнечной радиации. — Л.: Гидрометеиздат. 232 с.

Ситнов С. А. (2011). Оптическая толща аэрозоля и общее содержание оксида углерода над европейской территорией России в период массовых пожаров лета 2010 г.: взаимосвязь изменчивости загрязнений и метеорологических величин // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. Т. 47. № 6. С. 774—789.

Ситнов С. А. (2011а). Пространственно-временная изменчивость оптической толщи над центральной частью европейской территории России по данным спутниковых приборов MODIS // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. Т.47. № 5. С. 634—652.

Ситнов С. А. (2011б). Спутниковый мониторинг содержаний газовых примесей атмосферы и оптических характеристик атмосферного аэрозоля над европейской территорией России летом 2010 года // Доклады Академии наук. Геофизика. Т. 437. № 1. С.102—107.

Ситнов С. А. (2012). Эволюция и радиационные эффекты экстремального задымления европейской территорией России в апреле — сентябре 2010 года // Доклады Академии наук. Геофизика. Т. 446. № 5. С. 561—567.

Тарасова Т. А., Ярхо Е. В. (1991). Определение аэрозольной оптической толщины атмосферы по измерениям прямой интегральной радиации // Метеорология и гидрология. № 12. С. 66—71.

Улюмжиева Н. Н., Чубарова Н. Е., Смирнов А. Н. (2005). Характеристики атмосферного аэрозоля в Москве по данным солнечного фотометра CIMEL // Метеорология и гидрология. № 1. С. 48—57.

Федеральный закон №7-ФЗ от 10.01.2002 (ред. от 27.12.2009) "Об охране окружающей среды".

Хлебникова Е. И., Салль И. А. (2014). Региональные климатические изменения основных составляющих радиационного баланса земной поверхности на территории России // Труды ГГО. Вып. 570. С. 34—49.

Ярхо Е. В. (1994). Временная изменчивость аэрозольной оптической толщины атмосферы в различных климатических зонах // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. Т. 30. № 3. С. 417—424.

Alpert P., Kirsha P. et al. (2005). Global dimming or local dimming?: Effect of urbanization on sunlight availability // Geophysical Research Letters. V.32. L17802. DOI: 10.1029/2005GL023320.

Chu D. A., Kaufman Y. J., Ichoku C. (2002). Validation of MODIS aerosol optical depth retrieval over land // Geophys. Res. Lett. V. 29. № 12. MOD 2/1-MOD 2/4.

Holben B. N. (2012). Global and regional trends of aerosol optical depth over land and ocean using SeaWiFS measurements from 1997 to 2010 // Atmos. Chem. Phys. V. 12. P. 8037—8053.

Hsu N. C., Gautam R., Sayer A. M., Bettenhausen C., Li C., Jeong M. J., Tsay S. C., Holben B. N. (2012). Global and regional trends of aerosol optical depth over land and ocean using SeaWiFS measurements from 1997 to 2010. // Atmos. Chem. Phys. V. 12. P. 8037—8053.

Ichoku C., Levy R., Kaufman Y. J. et al. (2002). Analysis of the performance characteristics of five-channel Microtops II Sun photometer for measuring aerosol optical thickness and precipitable water vapor // J. Geophys. Res. D. V. 107. № 13. P.5/1—5/17.

IPCC. Climate Change 2013. Working Group I. Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change. Fifth Assessment Report of Climate Change: The Physical Science Basis. Ch. 7. 1535 p. Cambridge University Press.

IPCC. Climate Change 2007. Working Group I. Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change. Fourth Assessment Report of Climate Change: The Physical Science Basis. Ch. 2. P. 130—234. Cambridge University Press.

IPCC. Climate Change 2001. Working Group I. Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change. Third Assessment Report Climate Change 2001: The Physical

Science Basis. [http:// www/grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/166.html](http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/166.html) или Cambridge University Press, UK and New York, USA. 2001. P. 540.

Kishcha P., Starobinets B. et al. (2008). Quantification of the effect of urbanization on solar dimming // *Geophysical Research Letters*. V. 35. L08801. DOI: 10.1029/2007GL033012.

Kishcha P., Starobinets. et al. (2009). Variations of meridional aerosol distribution and solar dimming // *Journal of Geophysical Research*. V. 114. D00D14. DOI: 10.1029/2008JD010975.

Norris J. R., Wild M. (2007). Trends in aerosol radiative effects over Europe inferred from observed cloud cover, solar “dimming”, and solar “brightening” // *Journal of Geophysical Research*. V. 112. D08214. DOI: 10.1029/2006JD007794.

Norris J. R., Wild M. (2009) Trends in aerosol radiative effects over China and Japan inferred from observed cloud cover, solar “dimming”, and solar “brightening” // *Journal of Geophysical Research*. V. 114. D00D14. DOI: 10.1029/2008JD010975.

Ohmura A. (2006). Observed long-term variations of solar irradiance at the earth surface // *Space Science Reviews*. V. 125. P. 111—128. DOI: 10.1007/s11214-006-9050-9.

Ohmura A., Gilgen H., Hegner H. et al. (1998). Baseline surface radiation network (BSRN/WCRP): New Precision Radiometry for Climate Research // *Bull. Am. Meteorol. Soc.* V. 79. P. 2115—2136. doi: 10.1175/1520-0477(1998)079<2115:BSRNBW>2.0.CO% B2.

Ohmura A. (2009). Observed decadal variations in surface solar radiation and their causes // *J. Geophys. Res.* V. 114. D00D05. doi: 10.1029/2008JD011290.

Ohvri H., Teral H., Neiman L. et al. (2009). Global dimming and brightening versus atmospheric column transparency, Europe, 1906–2007 // *Journal of Geophysical Research*. V. 114. D00D12. doi: 10.1029/2008JD010644.

Power H. C. (2003). Trends in solar radiation over Germany and an assessment of the role of aerosols and sunshine duration // *Theoretical and Applied Climatology*. V. 76. P. 47—63. DOI: 10.1007/s00704-003-0005-8.

Remer L. A., Kaufman Y. J., Mattoo S. et al. (2004). The MODIS Aerosol Algorithm, Products, and Validation // *Journal of the Atmospheric Sciences*. V. 62. №. 4. P. 947—973

Sayer A. M., Hsu N. C., Bettenhausen C., Ahmad Z., Holben B. N., Smirnov A., Thomas G. E., Zhang J. (2012). SeaWiFS Ocean Aerosol Retrieval (SOAR): algorithm, validation, and comparison with other datasets // *J. Geophys. Res.* V. 117

Smirnov A., Holben B. N., Eck T. F., Dubovik O., Slutsker I. (2000). Cloud-screening and quality control algorithms for the AERONET database // *Remote Sensing of Environment*. № 73. P. 337—349. doi:10.1016/S0034-4257(00)00109-7.

Wang K., Dickinson R., Liang S. (2009). Clear sky visibility has decreased over land globally from 1973 to 2007 // Science. V. 323. P. 1468—1470.

Wild M. (2009). Global dimming and brightening: A review. // Journal of Geophysical Research. V. 114. D00D16. DOI: 10.1029/2008JD011470.

Wild M. (2010). Introduction to special section on global dimming and brightening. //J. Geophys. Res. V. 115. D00D00. doi:10.1029/2009JD012841.

Wild M. (2012). Enlightening global dimming and brightening // American Meteorological Society // № 1. P. 27—37. DOI: 10.1175/BAMS-D-11-0074.1

Wild, M., Gilgen H., Roesch A. et al. (2005). From dimming to brightening: Decadal changes in surface solar radiation // Science. V. 308. P. 847—850. doi:10.1126/science.1103215.

Wild M., Trussel B. et al. (2009). Global dimming and brightening: An update beyond 2000 // Journal of Geophysical Research. V. 114. D00D13. DOI: 10.1029/2008JD011382

О МОДЕЛИ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ АЭРОЗОЛЬНОГО ВЕЩЕСТВА

Л. С. Ивлев¹, Л. А. Майборода²

¹Санкт-Петербургский государственный университет
Физический факультет
198504 Санкт-Петербург, Петергоф, ул. Ульяновская, д. 3
ivlev.lev@mail.ru

²Петровская академия наук и искусств
geoobserver@yandex.ru

Поступила в редакцию 12.05.2014
Поступила после доработки 15.06.2014

При исследованиях оптических свойств земной атмосферы стало очевидно, что как в коротковолновой, так и в инфракрасной областях спектров ослабления, поглощения и рассеяния атмосферных слоев изменчивость этих характеристик обусловлена в первую очередь взаимодействием аэрозолей с водной компонентой. Наиболее очевидным подходом решения этой проблемы представлялось прямое измерение оптических характеристик аэрозолей при контролируемой относительной влажности. Были получены большие массивы экспериментальных данных по спектральным оптическим характеристикам атмосферных слоев в различных климатических и погодных условиях. При этом наблюдалось неоднозначное соответствие между оптическими и метеорологическими параметрами. Интерпретация оптических данных была существенно затруднена отсутствием систематических данных о микроструктуре (дисперсности и морфологии) частиц и их химическом составе (комплексном показателе).

Возникшая при расчетах оптических характеристик аэрозолей задача заключается в моделировании изменчивости размеров и формы частиц при изменении относительной влажности воздуха и моделировании комплексного показателя преломления аэрозольного

вещества. Учет изменения формы частиц при изменении влажности наиболее прост: если вещество частиц растворимое, то увеличение влажности ведет к образованию микрокапель, а для частиц с вогнутостями — к заполнению последних водой. Если состояние среды слаботурбулизировано и отсутствует ориентация частиц, то приближение сферичности частиц работает удовлетворительно. Особый случай представляет наличие электрического поля и высокой относительной влажности, в частности, при отрицательных температурах, которое приводит к появлению цепочечных и нитевидных структур. В настоящее время получены фундаментальные результаты по конденсационному росту аэрозольных частиц различной природы (Седунов, 1972; Райст, 1987). Следует отметить, что исследования микроструктуры частиц и их поведения при различных состояниях воздушной среды проводились научными группами, которые в большинстве случаев не интересовались проблемами атмосферной оптики и не пытались переводить микроструктурные характеристики в оптические, тем более, что при таких попытках, делаемых наскоком, часто получали несопоставимые результаты. Однако в любом случае сопоставлять их было необходимо. В первую очередь для этого требовалось знание комплексного показателя преломления аэрозольного вещества, который можно получить из спектральных измерений аэрозольных проб.

Это достаточно отработанный метод, дающий данные для конкретного случая, плохо воспроизводимые в природных условиях. Модельные характеристики комплексного показателя преломления получаются после большого количества измерений при контролируемых условиях и имеют серьезные ограничения применимости (McClatchey et al., 1972).

Принятие концепции смешивания веществ с моделируемым химическим составом делает возможным перевод микрофизических данных в оптические с более широкими возможностями их использования. Для веществ чистых химических соединений комплексные показатели преломления были определены в лабораторных условиях. По этим показателям рассчитывались

«синтетические» комплексные показатели преломления для смесей веществ (Ивлев, Попова, 1973, 1974). Основными компонентами синтетического аэрозольного вещества являются: вода (лед), полярные и неполярные жидкости, стекла, кремнеземы, некоторые кристаллы, причём часто с малыми примесями металлов.

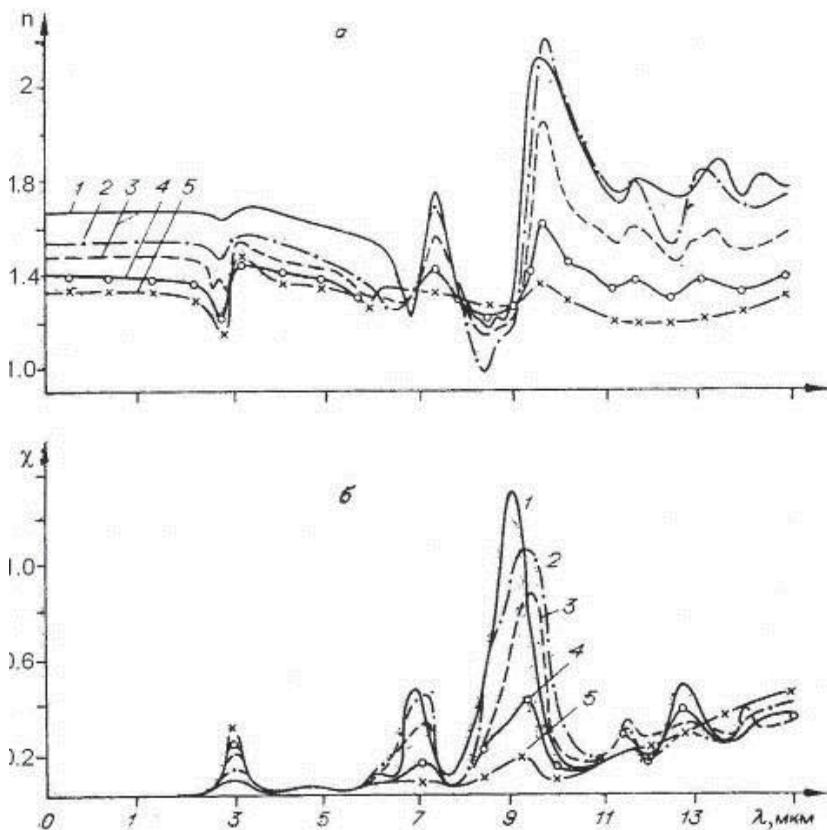


Рис. 1. Вещественная (а) и мнимая (б) части эффективного показателя преломления вещества аэрозольных частиц приземного происхождения при разном содержании свободной воды:

1 — 5 соответственно 0; 10; 20; 40; 70 % H_2O .

Проводился учет вклада воды в состав частиц, так как он в ряде случаев оказывался решающим для «эффективной» величины показателя преломления. Таким образом, стало возможным по микрофизическим данным моделировать оптические характеристики аэрозолей, причём при использовании соотношений Крамерса — Кронига в широкой области спектра. Были созданы различные оптико-микрофизические модели атмосферных аэрозолей, в частности для приземных аэрозолей дисперсионного и конденсационного происхождения (рис. 1), а затем для аэрозолей различного происхождения.

Сравнение модельных расчетов оптических характеристик атмосферных аэрозолей с определяемыми в натуральных условиях показало удовлетворительное согласие данных (рис. 2) и позволило решать тонкие обратные задачи оптики аэрозолей. Это стало серьезным достижением в решении задач переноса излучения в аэрозольных средах.

Однако в работах по моделированию комплексного показателя преломления остался неясным момент влияния на его величину свободного пространства внутри вещества и вопрос о том, как связаны свойства атомов с их электронными подсистемами. При построении модели жидкостей Я. И. Френкель ввёл понятие «свободного объема» (применимого и для стекол, которые со времен Д. И. Менделеева рассматриваются как вязкие жидкости). Свободный объем определяется как совокупность объемов, не заполненных атомами или молекулами, а жидкое состояние по Френкелю характеризуется наличием взаимосвязанной системы полостей, пронизывающей всю структуру, которая может характеризоваться средней величиной свободного объема (Δv), в пересчете на одну частицу жидкости (Френкель, 1941). Неопределенность этого понятия следует из необходимости уточнения: какая доля связующей электронной плотности (ЭП) относится к атомарно-молекулярному объему и существует ли межатомарный объем полностью свободный от ЭП. Как следствие детальных исследований состава-структуры вещества стали выявляться общие закономерности в его организации.

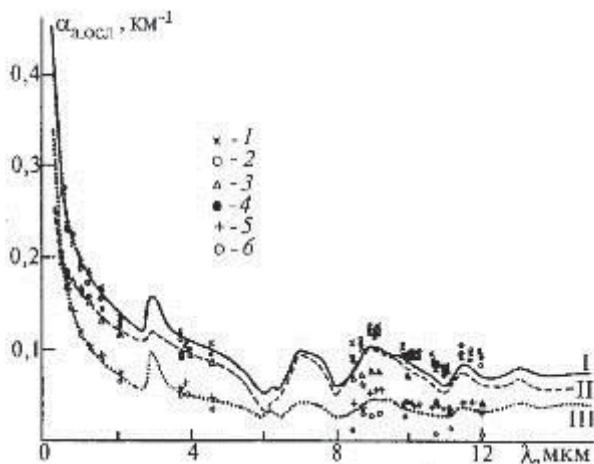


Рис. 2. Расчётные (кривые) и экспериментальные (точки) коэффициентов аэрозольного ослабления при различных ситуациях в атмосфере.

Экспериментальные данные: 1, 2, 5 — по работе (Ивлев, Андреев, 1986),

3, 4, 6 — по работе (Кондратьев и др., 2007),

I — $S_m = 11$ км, II — $S_m = 14$ км, III — $S_m = 19$ км, $f = 81$ %

Так надмолекулярная организация (кластерная и доменная) в кристаллах, жидкостях и аморфных твердых телах (стекла) связана с упорядочением собственных точечных и структурных дефектов. В особо чистых кристаллах концентрация объемных точечных дефектов оценивается в пределах 10^{-4} — 10^{-6} мас. %. Точечные дефекты обычно распределены равномерно в объеме и даже в столь небольшой концентрации влияют на оптические свойства кристаллов, т. к. возбуждение ЭП локализуется в областях наибольшего искажения внутрикристаллического потенциала. Построение картин распределения ЭП по данным рентгенографического анализа (Резников, Ивлев, Литвинова, 2011) и измерение показателей преломления диэлектриков в областях оптической прозрачности материалов указывают на отсутствие областей свободных от ЭП.

Кластерная организация в стеклах и аморфизированных гетерогенных материалах может сочетаться с несколькими уровнями доменной организации, например, по модели Пенроуза в

гексагонально-пентагональных фрагментах в составе сульфидо-углеродных оболочек. Если межзерновые и межблочные границы рассматривать как структурные макродефекты, то поликристаллы и твердые растворы внедрения также могут быть отнесены к двухфазным структурам: вещество — «свободный объем». Из структурирования в жидкостях и кристаллизации или фазового разделения в стеклах следует, что перераспределение плотности подчиняется не статистическим закономерностям, а в большей мере внутренней многоуровневой организации в рамках минимизации потенциальной энергии совокупности частиц (атомов, молекул, кластеров).

Наблюдается сохранение или даже уменьшение объемов тел (на ~10 %) при их плавлении. Общеизвестным классическим примером этого эффекта является переход лед→вода. Следовательно, перераспределение «свободного объема» на атомарно-молекулярном уровне — это не только изменение расстояния между атомами или молекулами и организация кластеров, но и в не меньшей степени изменение размеров самих атомов (молекул). Прямые признаки свободного объема: образование отрицательных кристаллов, наличие нанополостей, фазовое разделение в твердых растворах и жидкостях. Вследствие меньшей энергии связи $(M^+)^-H$ для катионов K, Rb и Cs в сравнении с энергией сродства $(H^+)^-$ к электрону и коллективизации подсистемы H-связей отрицательная гидратация в воде предполагает наличие «свободного объема» вокруг $(M^+)^-$. Образование «свободного объема» возможно при агрегировании макромолекул в растворе за счет вытеснения растворителя из межмолекулярного промежутка (Резников, Ивлев, Литвинова, 2011).

При выявлении закономерностей в организации вещества и систематизации соединений по их свойствам для ряда жидкостей и минералов были получены полуэмпирические зависимости между одними из основных характеристик вещества: показателем преломления и плотностью (Резников, Осипов, Шаблинский, 2011; Смит, 1984; Френкель, 1941), что указывает на определенную закономерность в распределении элементарных «кирпичиков» вещества.

Отношение показатель преломления — плотность (n/ρ) с размерностью ($\text{см}^3/\text{г}$) отражает распределение локальных дефектов с низкой атомарной массой. Корреляция зависимостей n/ρ для силикатных стекол и жидкостей допускает наличие общего типа зависимости (n/ρ) для однотипных по структуре соединений различного агрегатного состояния. Статистическая зависимость $n/\rho = f(\rho)$ для широкого класса кремнеземно-силикатных материалов (Френкель, 1941) с точностью до разброса значений (n) и (ρ) образуют близкую к линейной зависимость $n/\rho \approx \rho \cdot \text{tg}\alpha$.

В области $\rho > 3,5 \text{ г/см}^3$ незначительные отклонения от линейности, наиболее вероятно связаны с включением примесей «тяжелых» атомов, тогда как существенное отклонение от линейности в сторону больших значений n/ρ при $\rho < 2,2 \text{ г/см}^3$ относится к заведомо пористым соединениям. Отклонения от линейности в сторону больших значений n/ρ кристаллов с большими анионами (KBr, KI) может быть за счет неконтролируемого включения водорода и связанного с этим перераспределения ЭП.

Отклонение величин (n/ρ) для некоторых соединений от эмпирической зависимости в сторону больших значений может быть следствием растворения газов в жидкостях или гидротермальной методики синтеза из водных растворов, легированных водородом. Существуют жидкости с близкими к воде значениями (ρ) для которых значения (n/ρ) меньше, чем у воды при возможной их надмолекулярной организации.

Измерение показателя преломления (n) в области оптической прозрачности соединений (фоновый уровень поглощения) позволяет напрямую связывать эту величину с низкоэнергетической ЭП, не участвующей непосредственно в организации химических связей. Вблизи края поглощения дисперсия $n(\lambda)$ имеет степенную зависимость (Ефимов, 2008), характеризующую распределение концентрации собственных и легирующих примесных центров (правило Урбаха).

Формирование экспоненциальной зависимости низкоэнергетического края поглощения (урбаховский край) в кристаллических,

квазикристаллических и в некристаллических материалах связывается со структурным беспорядком, где форма описания урбаховского края производится по параметрам моделей беспорядка. В кристаллах происхождение структурного беспорядка — это динамические и примесные дефекты. В аморфных веществах степень беспорядка определяется вариациями энергий связей, которые вносят существенно больший вклад в сравнении с примесями и колебаниями атомов.

Отношение (n/ρ) может быть использовано для выявления надмолекулярного уровня структурной организации в воде. Экспериментальное исследование этого отношения выполнено в работе (Резников, Осипов, Шаблинский, 2011). Отношение плотности воды и опалов с концентрацией внутриводной воды < 5 масс. % соответствует кубической степени соотношения точечной плотности атомарных масс водородно-кислородных (при $r_{O-O} \sim 2,85 \text{ \AA}$) и кислородно-кремниевых тетраэдров, а отношение плотности воды и льда в области тройной точки практически совпадает с отношением плотностей «легких» и «тяжелых» опалов. Эти данные допускают существование корреляции между значениями n/ρ воды, льда и аморфизированных форм кремнезема. Для выявления структурной организации в воде построены статистические зависимости для полярных и неполярных жидкостей. Существует относительно простая зависимость типа $n/\rho \approx k \rho^{-x}$ для неполярных жидкостей. Такого рода зависимость получена для обоих типов жидкостей и отличается величиной (k), большей для неполярных жидкостей. При одинаковых значениях (ρ) уменьшение значений (n/ρ) полярных жидкостей вероятно отвечает кулоновскому или/и водородному перераспределению ЭП, что можно рассматривать как уменьшение «свободного объема». Совместно с показателем $n/\rho \approx 0,73$ для опалов с низкой концентрацией внутриводной воды показатели n/ρ воды и льда-1h образуют зависимость $n/\rho = f(\rho)$, практически совпадающую с зависимостью n/ρ полярных жидкостей. Расположение величины (n/ρ) воды между величинами (n/ρ) пористого кристаллического и аморфного веществ, отличающихся составом и подвижностью катионов, возможно, если формульные центры организованы в

однотипные кластеры. Уменьшение величины (n/ρ) воды по отношению к полярным жидкостям соответствует надмолекулярной организации. В этом случае тип агрегатного состояния вещества определяется низкой энергией связи между кластерами. Предельным случаем жидкофазного конденсата с более высоким уровнем надмолекулярной организации являются жидкие кристаллы.

В размерности отношения (n/ρ) \rightarrow см³/г объемная характеристика относится к ЭП именно примесных состояний. Следовательно, отношение (n/ρ) как характеристика взаимосвязанного распределения ядерной и низкоэнергетической ЭП отражает распределение ЭП неоднородностей структуры, в частности локальных дефектов с низкой атомарной массой при определенных значениях (n) или интегральное для усредненного значения (n) в области края собственного поглощения (Наумов, Болдырева, 1999). Совокупность значений (n/ρ) для определенного класса материалов может отражать закономерность в распределении «свободного объема» при изменении локальной концентрации ядерной плотности.

Изменение плотности кремнезема (а также других пород) можно рассматривать как совокупность кристаллических дефектов, выражаемую через изменение расстояний между центрами масс молекулярных элементов самоподобия (изменение «свободного объема»), а существование непрерывного ряда значений n/ρ в ряду модификаций кремнезема — как следствие изменения конформации кремний-кислородных тетраэдров.

В области урбаховского края спектр поглощения стекол может существенно зависеть от микропримесей переходных металлов, прежде всего от микропримесей железа. Например, в стеклах из особо чистых реактивов поглощение в ближней УФ-области почти на порядок меньше, чем в стеклах стандартной чистоты.

Корреляция зависимостей n/ρ для модификаций кремнезема и жидкостей и результаты работы (Gladstone, Dale, 1864) допускают наличие общего типа зависимости (n/ρ) для однотипных по структуре соединений различного агрегатного состояния.

Зависимости (n/p) для тестированных технических стекол и стекол с различными вариантами оксидов-модификаторов, а также зависимость n/p для цветных оптических стекол (с нанофазами полупроводниковых соединений) отличаются незначительно. Из сравнения зависимостей (n/p) кремнезема и технических стекол следует, что введение оксидов модификаторов приводит к разрыхлению на уровне кластеров.

Небольшое отличие степенных показателей стекол по зависимостям связано с неконтролируемой примесью железа. Близкая к линейной зависимость (n/p) природных стекол коррелирует с уменьшением абсолютной величины степенного показателя и $k \approx 1,0$ в зависимости n/p сложных силикатов. Основным отличием жидкостей от стекол как вязких жидкостей является среднее расстояние между молекулами (структурными группами).

Таким образом, для атмосферных условий синтетическая модель комплексного показателя преломления работает удовлетворительно. Однако требуется мониторинг химического и морфологического состояния аэрозолей для корректировки модели показателя преломления. Лишь в отдельных случаях могут наблюдаться отклонения от разработанной схемы ее расчета.

Особый интерес представляют аномально высокие значения показателей преломления вещества переохлажденных капель в льдосодержащих облаках. А. Н. Невзоровым (2005) было обнаружено, что в таких облаках содержатся капли диаметром больше 20 мкм, которые создают глории, отвечающие показателю преломления $n = 1,815$ так называемой воды Б. Очевидно, последняя, возникающая при очень низких температурах (-45 °С) содержит, вероятно, адсорбируемые газовые примеси (азот, окислы азота, озон). Однако это требует дополнительных специальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ефимов А. М. (2008). Оптические свойства материалов. — СПб: РИО ИТМО. 198 с.

Ивлев Л. С., Попова С. И. (1973). Комплексный показатель преломления дисперсированной фазы атмосферного аэрозоля // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. Т. 9. № 10. С. 1034—1043.

Ивлев Л. С., Попова С. И. (1974). Влияние влажности на значения оптических постоянных вещества атмосферного аэрозоля // Известия Вузов. Физика. № 5. С. 12—15.

Ивлев Л. С., Андреев С. Д. (1986). Оптические свойства атмосферных аэрозолей. — Л.: Изд-во Ленингр. ун-та. 358 с.

Кондратьев К. Я., Ивлев Л. С., Крапивин В. Ф. (2007). Свойства, процессы образования и последствия воздействий атмосферного аэрозоля: от нано до глобальных масштабов. — СПб: ВВМ. 858 с.

Наумов Д. Ю., Болдырева Е. В. (1999). Программное обеспечение для расчета и визуализации «свободного пространства» в кристаллических структурах и супрамолекулярных ансамблях // ЖСХ. Т. 40. № 1. С. 102—110.

Невзоров А. Н. (2005). О теории и физике образования глории / В сб.: Естественные и антропогенные аэрозоли. VII международная конференция. 28.09 — 01.10.2010 г. — СПб: ВВМ. С.52—57.

Райст П. (1987). Аэрозоли. Введение в теорию — М.: Мир, 214 с.

Резников В. А., Ивлев Л. С., Литвинова Л. С. (2011). Энергетическая организация молекул в составе фуллеренсодержащих комплексов на примере C-60 / В сб.: Естественные и антропогенные аэрозоли. VII международная конференция. 28.09 — 01.10.2010 г. — СПб.: ВВМ. С. 354—362.

Резников В. А., Осипов Э. В., Шаблинский А. П. (2011). Отношение n/ρ как характеристика свободного объема в конденсированных материалах / В сб.: Естественные и антропогенные аэрозоли. VII международная конференция. 28.09 — 01.10.2010 г. — СПб: ВВМ. С. 341—353.

Седунов Ю. С. (1972). Физика образования жидкокапельной фазы в атмосфере. — Л.: Гидрометеиздат. 207 с.

Смит Г. (1984). Драгоценные камни. — М.: Мир. 558 с.

Френкель Я. И. (1941). Новейшее развитие учения о жидком состоянии // УФН. Т. XXV. Вып. 1. С. 1—18.

Gladstone J. H., Dale T. P. (1864). Researches on the refraction, dispersion and sensitiveness of liquids // Phil. Trans. Roy. Soc. London. V.153. P. 317—343.

McClatchey R. A., Fenn R. W., Selby J. E. A., Volz F. E., Garing J. S. (1972). Optical Properties of the Atmosphere // US Air Force Cambr. Res. Lab. Report AFCRL — 72-0497. Hanson Field. Massach.

УДК 551.521.9, 551.506.3

МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В МОСКВЕ

О. А. Шиловцева

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
географический факультет
129991 Москва, Ленинские горы, ГСП-1
E-mail: bubrgordo@gmail.com

Поступила в редакцию 15.07.2014
Поступила после доработки 20.10.2014

Введение

Естественная освещенность земной поверхности и различных объектов — результат восприятия человеческим глазом солнечной радиации в видимом диапазоне спектра, что позволяет учитывать не только чисто физическую природу света, но и его биологическое воздействие. Медико-биологические исследования показывают, что естественный дневной свет — необходимая составляющая для здоровья и хорошего самочувствия человека, которая определяет не только функцию зрения, но и его жизненный тонус и биоритмы (Июффе, 2008; Егорченков, 2011). В связи с этим анализ светового климата, учитывающий особенности суточного и годового хода освещенности в разных географических точках, имеет как научный, так и практический интерес, способствуя созданию более комфортной среды обитания человека в мегаполисе.

Изучение естественной освещенности как природного ресурса началось в первой четверти XX века, когда появились первые фотоэлементы. Эпизодические наблюдения за освещенностью в нашей стране и за рубежом были организованы практически одновременно. В начале 1920-х годов в США были опубликованы первые работы об измерениях естественной освещенности горизонтальной, а также вертикальных и наклонных поверхностей (Kimbal&Hand, 1921, 1922). В данном кратком обзоре основное

внимание уделено истории развития наблюдений за естественной освещенностью в России.

В нашей стране наблюдения за естественной освещенностью были организованы по инициативе Н. Н. Калитина, возглавлявшего в Главной геофизической обсерватории Институт актинометрии и атмосферной оптики (ИААО) (Калитин, 1935). В 1924 г. в Слуцке (ныне г. Павловск Ленинградской области) была начата непрерывная регистрация рассеянной, а в 1931 г. — суммарной освещенности с помощью созданного Н. Н. Калитиным фотоэлектрического регистратора (Былов, 1935). В это же время были разработаны методики наблюдений за освещенностью вертикальных поверхностей, начаты работы по изучению сумеречной освещенности, выполнены первые обобщения светового климата (Калитин, 1938). Под руководством Н. Н. Калитина и его сотрудников М. Н. Былова, Вл. А. Березкина и ряда других исследователей в 1930-е годы систематические наблюдения за освещенностью проводились в Ленинграде, Иркутске и Ташкенте; в Якутске, Куйбышеве, Воронеже, Свердловске и других пунктах она измерялась эпизодически (Ремизов, 1928; Пospelов, 1931; Былов, 1933; Лопухин, 1935; Галанин, 1939). В 1935—1940 гг. освещенность измерялась на полярных станциях о-в Уединения, о-в Диксон, бухта Тихая, Земля Франца-Иосифа, Тикси, мыс Шмидта (Каледкина, 1943). В эти годы были получены первые обобщения светового режима крупного города (Олинский, 1932), проводились конференции по естественному освещению, в резолюциях которых отмечалась важность и необходимость организации сети наблюдений за естественной освещенностью и разработки пригодного для этих работ приборов (Труды, 1933), сделаны первые шаги в использовании данных по освещенности в строительстве и архитектуре, в медицине (Мешков и Смелянский, 1934; Вайнберг и Гершун, 1935; Труды, 1935; Дашкевич, 1936; Калитин, 1947). Лекции по естественному освещению были включены в учебные курсы для специалистов по светотехнике, строительной физике, гигиене и санитарии и т. д. (Мешков и Смелянский, 1934; Зеленков, 1934 и др.). С началом Великой Отечественной войны

работы были прерваны, значительная часть материалов наблюдений утрачена.

В Москве фотометрические наблюдения проводились учеными разных специальностей. Так, в 1933 г. измерения освещенности на базе Метеорологической обсерватории в Петровском-Разумовском (ныне Российский аграрный университет МСХА им. К. А. Тимирязева) организовал Институт гигиены труда и промсанитарии. Эти наблюдения проводились в течение пяти лет (Данциг и Мамонтова, 1935; Бюллетень..., 1935). В 1928 г. измерения естественной освещенности проводились на агрометеорологической станции Собакино в ближнем Подмосковье (Небольсин, 1949). В 1937 г. под руководством М. С. Аверкиева в метеорологической обсерватории Московского гидрометеорологического института измерялась освещенность горизонтальной, вертикальных и различно ориентированных поверхностей (Аверкиев, 1950). В 1933 г. в Мытищах сделана одна из первых попыток оценить освещенность внутри городского каньона (Чудаков, 1935).

В первые послевоенные годы Ю. Д. Янишевский выполнил расчеты светового эквивалента солнечной радиации для территории СССР с использованием наблюдений Н. Н. Калитина за 1920—1941 гг. В 1947 г. при обсуждении основных принципов построения актинометрической сети им было отмечено, что несмотря на существующую потребность в данных об освещенности для удовлетворения запросов транспорта, городского хозяйства и обороны "...непосредственные измерения естественной освещенности сложно организовать на актинометрических станциях вследствие отсутствия практически разработанной модели сетевого фотометра и системы его контроля" (Янишевский, 1947). В 1950—70-х годах сотрудники Главной геофизической обсерватории продолжали работы по изучению естественной освещенности, начатые Н. Н. Калитиным (Бартенева и Гусева, 1957; Бартенева и др., 1971; Янишевский, 1957 и др.).

В эти же годы работы по оценке светового климата для нужд строительной физики широко развернулись в НИИ строительной физики Госстроя СССР. В 1960-е годы в ближайшем пригороде

Москвы на его светоклиматической станции проводились измерения суммарной и рассеянной освещенности горизонтальной и различно ориентированных вертикальных поверхностей (Никольская, 1967). На основе этих наблюдений в МГУ в середине 1960-х годов создана светоклиматическая карта Советского Союза (Гусев, Никольская, 1968).

В 1980-х годах С. И. Зачек сконструировал новый прибор на базе кремниевых фотоприемников, который прошел метеорологические испытания (Зачек и др., 1988б). Однако изменившаяся экономическая ситуация в стране не позволила его внедрить на сеть актинометрических станций, и регулярные наблюдения за естественной освещенностью так и не были организованы.

До настоящего времени наиболее популярными среди потребителей обобщающими трудами по освещенности остаются таблицы Шаронова, вышедшие в свет в 1945 г., и коллективная монография О. Д. Бартеневой, Е. А. Поляковой и Н. П. Русина, посвященная методу расчета освещенности по актинометрическим наблюдениям (Русин и др., 1971).

Идеи Н. Н. Калитина по организации регулярных измерений естественной освещенности горизонтальной поверхности были воплощены в жизнь в метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ). В 1961 г. Т. В. Евневич организовала сначала эпизодические наблюдения за освещенностью, а с марта 1964 г. — ее непрерывную регистрацию, которая продолжается и поныне (Евневич, 1963, 1965; Евневич, Никольская, 1968; Климат., 1995; Справочник..., 2003). В настоящее время МО МГУ обладает самым длинным рядом непрерывных наблюдений за естественной освещенностью в мире и является единственной светоклиматической станцией на территории нашей страны.

Обобщение результатов 50-летних наблюдений за естественной освещенностью позволяет достаточно детально исследовать основные закономерности формирования светового климата Москвы, а также оценить влияние на него основных климатообразующих факторов.

В задачу данной работы входит анализ многолетних изменений годового и сезонного количества естественного освещения за период с 1964 по 2013 гг.

Приборы и методы оценки

В начале 1960-х годы сотрудники МО МГУ П. В. Чуковенко, А. В. Высоцкий и Т. В. Евневич разработали оригинальный прибор — регистратор естественного освещения или РЕО (Евневич, 1965). В процессе исследований этот прибор подтвердил возможность использования его для непрерывного мониторинга освещенности (Никольская и др., 1972). До октября 1973 г. РЕО работал в паре с гальванометром, затем его сменил потенциометр КСП-4, а с января 1995 г. регистрация суммарной и рассеянной освещенности ведется с помощью специализированной системы SUN (Розенталь и др., 1999). Приведение показаний РЕО к абсолютной шкале до 1975 г. осуществлялась по фотометру Вебера—Былова (Былов, 1935; Янишевский, 1957), с 1975 по 1988 г. — по прямой солнечной радиации в диапазоне длин волн 380—710 нм с использованием светового эквивалента, т. е. переходного коэффициента от радиации в видимой области спектра к освещенности (Луцько, 1969). С 1989 г. контроль осуществлялся по контрольному РЕО МГУ (до 2002 г.) и по люксметру ГГО (до 2011 г.), которые сопоставлялись с эталонным люксметром ГГО (Зачек и др., 1988а). С 2012 г. контрольным прибором служит LI-210SL фирмы LI-COR (www.licor.ru), который регулярно сравнивается с эталонным люксметром ГГО.

В МО МГУ измеряется суммарная (EQ) и рассеянная (ED) освещенность. Освещенность, создаваемая прямой солнечной радиацией (ES), рассчитывается как разность: $ES = EQ - ED$. Единицами освещенности служат клк, а количество освещения измеряется в клк·ч или Млк·ч.

Погрешность измерений естественной освещенности в среднем не превышает 10—12 % (Shilovtseva, 2001).

В работе также использованы материалы стандартных наблюдений МО МГУ за продолжительностью солнечного сияния по гелиографу

Кэмпбелла—Стокса, которые проводятся согласно Наставлению (1985), и результаты ежечасных наблюдений за облачностью в течение светлого времени суток, начавшиеся с 1965 г. (Абакумова и др., 2012). В качестве характеристики прозрачности атмосферы рассмотрена аэрозольная оптическая толщина на длине волны 550 нм ($AO\tau_{550}$), определяемая по данным стандартных наблюдений за прямой солнечной радиацией (Тарасова и Ярхо, 1991). Альbedo снега (Ак) в холодный период года рассчитано по данным непрерывной регистрации за суммарной и отраженной радиацией в полуденное время (11—13 ч), что позволило избежать влияния динамики и закрытости горизонта в окрестностях МО МГУ.

Обсуждение результатов

Годовое количество освещения. Обобщение всех материалов наблюдений за естественной освещенностью в течение полувека показало, что в среднем за год годовая сумма освещения суммарным светом в Москве составляет 110 Млк·ч. На долю рассеянной компоненты приходится 61 % от общего светового потока (табл. 1). Изменчивость годовых величин EQ и ED составляет порядка 4—6 %, а ES — 14 %. Анализ характеристик распределения EQ, ED и ES показал, что их можно считать близкими к нормальному, а их гистограммы показывают, что наиболее вероятные величины освещения за рассматриваемый период составляют для: ES 42—44, ED 64—66, EQ 108—110 Млк·ч (табл. 1, рис. 1).

С начала 1970-х до середины 1980 годов количество освещения суммарным и прямым светом земной поверхности уменьшалось, но к началу 1990-х годов отмечается рост EQ и ES, продолжающийся до настоящего времени. Изменения ED имеют обратный ход. На фоне квазипериодической изменчивости прослеживается линейная тенденция к значительному росту ES и, соответственно, к уменьшению ED, причем оба тренда статистически значимы (табл. 1, рис. 2).

За анализируемый период ES возросла на 20 %, что привело к росту EQ, линейный тренд которой положителен, хотя его статистическая значимость невелика ($P = 0,79$).

Таблица 1

**Годовое количество естественного освещения в Москве, клк·ч
(1964—2013 гг.)**

| Характеристика | EQ | ED | ES |
|-------------------------------------------------|---------------|--------------|--------------|
| Среднее | 110013 | 66719 | 43294 |
| ± ДИ | 1335 | 1053 | 1687 |
| СКО | 4698 | 3706 | 5934 |
| V% | 4 | 6 | 14 |
| Минимум (год) | 100783 (1974) | 59025 (2013) | 32290 (1983) |
| Максимум (год) | 120323 (2002) | 75238 (1992) | 55942 (2011) |
| Асимметрия | 0,18 | 0,43 | 0,13 |
| Экссесс | -0,64 | -0,16 | -0,44 |
| Световой эквивалент, клк·ч /МДж·м ⁻² | 31,2 | 33,0 | 26,5 |
| <i>Характеристики линейного тренда</i> | | | |
| α , клк ч | +582 | -1049 | +1622 |
| P | 0,79 | 0,997 | 0,996 |
| Δ_{50} , % | +3 | -7 | +20 |
| β , % | +1 | -7 | +4 |

Примечание:

ДИ – доверительный интервал;

СКО – среднее квадратическое отклонение;

V – коэффициент вариации, %

α – изменение за 10 лет, клк ч;

P – значимость тренда;

Δ_{50} – изменение за 50 лет, $\Delta_{50} = [(E_{2013} - E_{1964}) / E_{1964}] 100 \%$;

β – относительная величина тренда за 10 лет: $\beta = (\alpha / E_{\text{ср.}}) 100 \%$

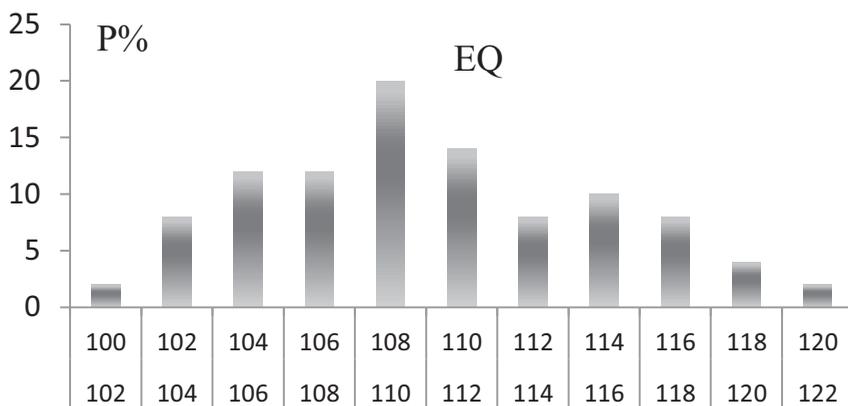
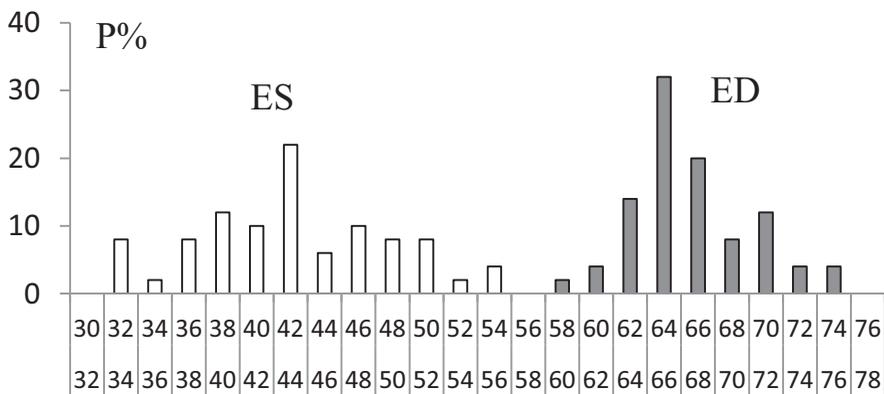


Рис. 1. Гистограммы годового количества освещения прямым (ES), рассеянным (ED) и суммарным (EQ) светом, Млк·ч, в Москве за 1964—2013 гг.

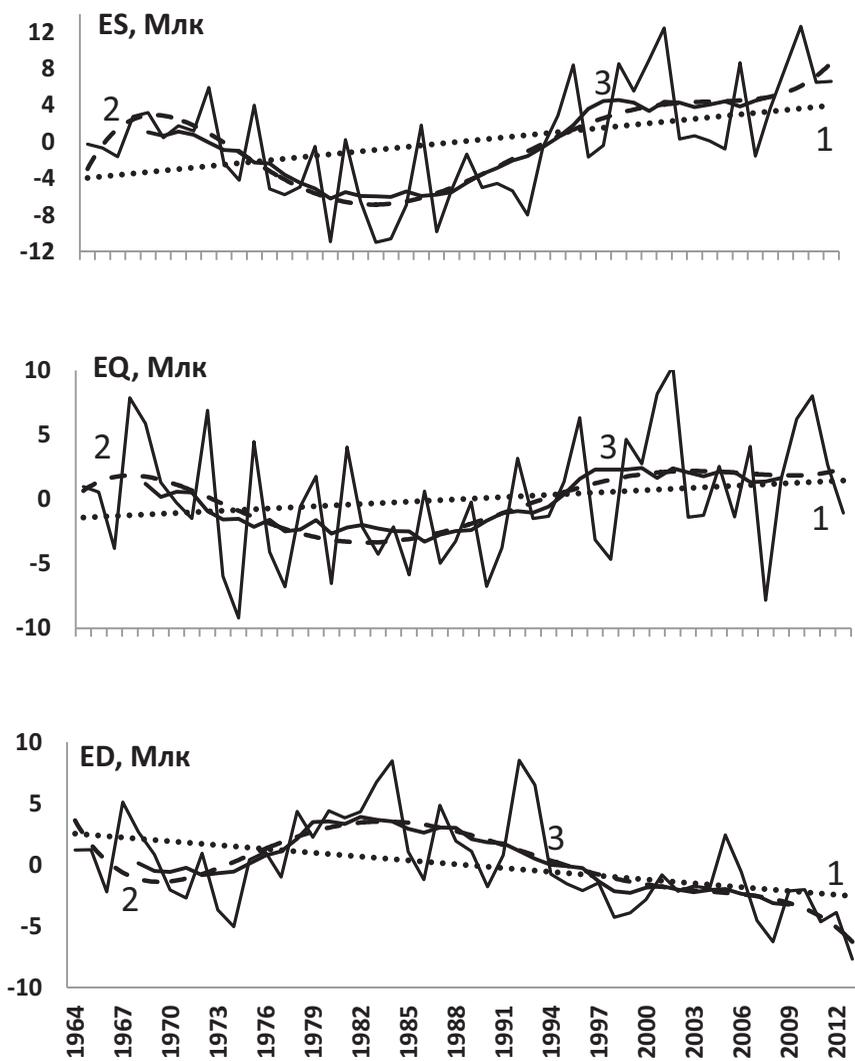


Рис. 2. Многолетнее изменение амплитуды годового количества естественного освещения в Москве:
 1 – линейный тренд (точки), 2 – полином 5 степени (пунктир), 3 – 10-летняя скользящая средняя (сплошная черная кривая).

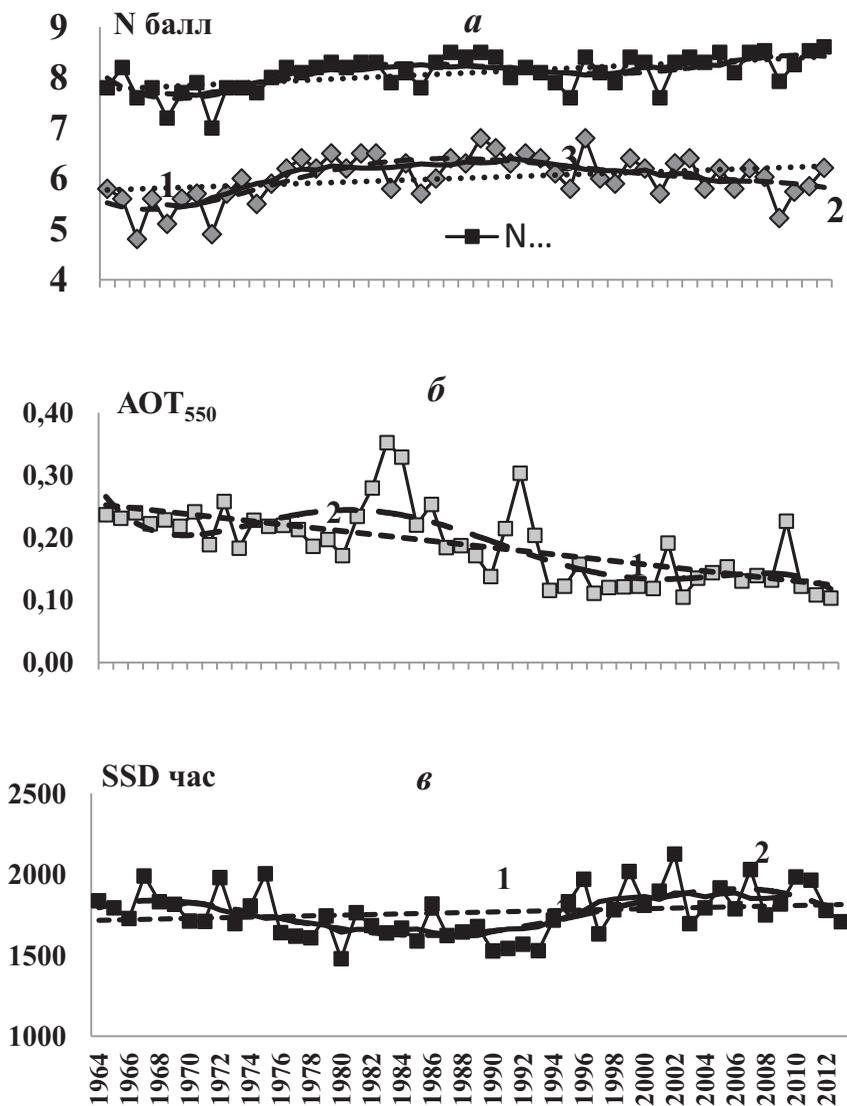


Рис. 3. Изменение средней за год общей (N_o) и нижней (N_n) облачности (а), аэрозольной оптической толщины (AOT₅₅₀, б), годовой продолжительности солнечного сияния (SSD, в) в Москве: 1 — линейный тренд, 2 — полином 5 степени, 3 — 10-летняя скользящая средняя.

Характеристики изменчивости среднего за год и сезон балла общей (No) и нижней (Nn) облачности в течение светлого времени суток в Москве за 1965—2013 гг.

| Характеристика | Год | | Зима | | Весна | | Лето | | Осень | |
|----------------------------------------|--------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | No | Nn | No | Nn | No | Nn | No | Nn | No | Nn |
| Среднее | 8,1 | 6,0 | 8,7 | 7,0 | 7,7 | 5,1 | 7,3 | 4,9 | 8,6 | 7,0 |
| ± ДИ | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 |
| СКО | 0,3 | 0,4 | 0,6 | 1,0 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,4 | 0,7 |
| V% | 4 | 7 | 7 | 14 | 3 | 11 | 9 | 14 | 5 | 10 |
| Минимум | 7,0 | 4,8 | 7,2 | 4,9 | 6,7 | 4,1 | 5,7 | 3,2 | 7,3 | 5,0 |
| (год) | (1972) | (1967) | (1969) | (1969) | (1969) | (1971) | (1972) | (1972) | (1975) | (1967) |
| Максимум | 8,6 | 6,8 (1990, | 9,5 | 8,5 | 8,7 | 6,3 | 8,3 | 6,1 | 9,4 | 8,4 |
| (год) | (2013) | 1997) | (1989) | (1992) | (1966) | (1980) | (1987) | (1980) | (2013) | (1997) |
| <i>Характеристики линейного тренда</i> | | | | | | | | | | |
| α , клк ч | +0,1 | +0,1 | +0,2 | +0,4 | +0,1 | -0,0 | +0,2» | 0,0 | 0,1 | 0,1 |
| P | 0,9999 | 0,997 | 0,9998 | 0,9998 | 0,90 | 0,24 | 0,994 | 0,06 | 0,93 | 0,61 |
| $\Delta_{50, \%}$ | +8 | +8 | +13 | +24 | +5 | -2 | +12 | +1 | +4 | +4 |
| β , % | +2 | +2 | +3 | +5 | +1 | 0 | +2 | 0 | +1 | +1 |

Примечание: см. обозначения в табл. 1.

При анализе полученных результатов были проанализированы основные факторы, формирующие световой климат — облачность, продолжительность солнечного сияния и прозрачность атмосферы. За рассматриваемый период на фоне квазипериодических изменений облачности наблюдается увеличение общего количества облаков (N_0), и количества облаков нижнего яруса (N_n), причем уровень значимости этих зависимостей очень высок (более 0,999, см. табл. 2). Это несколько расходится с тенденцией изменения естественной освещенности. Однако с середины 1990-х годов по настоящее время количество облаков нижнего яруса уменьшается, а именно этот ярус облаков играет главную роль в уменьшении количества суммарной световой энергии, поступающей к земной поверхности. По данным наблюдения МО МГУ линейный тренд для периода 1984—2013 гг. оказался положительным для общей облачности ($\alpha = +0,24$ балл/10 лет и $P = 0,999$) и отрицательным — для нижней ($\alpha = -0,06$ балл/10 лет и $P = 0,63$). Продолжительность солнечного сияния (SSD) за полувековой период также имеет тенденцию к росту, которая усилилась за последние 30 лет ($\alpha = +100$ час/10 лет и $P = 0,998$).

Аэрозольная оптическая толщина за рассматриваемый период существенно снизилась (табл. 3, рис. 3), что сыграло не последнюю роль в значительном увеличении прямой и уменьшении рассеянной освещенности (Абакумова и Горбаренко, 2009).

Рассмотренные факторы оказывают основное влияние на формирование светового климата, что подтверждают данные о коэффициентах корреляции, приведенные в табл. 4.

Интересно отметить, что 2002 год оказался самым «светлым», что было обусловлено малооблачной погодой летом и максимальной продолжительностью солнечного сияния за год. Минимальная рассеянная освещенность отмечена в 2013 году на фоне абсолютного минимума AOT_{550} .

В 1983 году из-за извержения вулкана Эль-Чичон годовые значения AOT_{550} были максимальными, а ES и ED — минимальными (табл. 1—3). Извержение вулкана Пинатубо в 1991 г. привело к росту рассеянной освещенности в 1992 г.

Таблица 3

Характеристики изменчивости продолжительности солнечного сияния (SSD ч) и аэрозольной оптической толщины на длине волны 550 нм (АОТ₅₅₀) в Москве за 1964—2013 гг.

| Характеристика | Год | | Зима | | Весна | | Лето | | Осень | |
|----------------------------------------|-------------|--------------------|------------|--------------------|------------|--------------------|------------|--------------------|------------|--------------------|
| | SSD | АОТ ₅₅₀ | SSD | АОТ ₅₅₀ | SSD | АОТ ₅₅₀ | SSD | АОТ ₅₅₀ | SSD | АОТ ₅₅₀ |
| Среднее | 1765 | 0,19 | 118 | 0,13 | 583 | 0,23 | 808 | 0,22 | 257 | 0,16 |
| ± ДИ | 43 | 0,01 | 10 | 0,02 | 20 | 0,02 | 25 | 0,02 | 14 | 0,02 |
| СКО | 151 | 0,06 | 35 | 0,08 | 69 | 0,08 | 87 | 0,08 | 50 | 0,07 |
| V% | 9 | 30 | 30 | 64 | 12 | 36 | 11 | 35 | 20 | 43 |
| Минимум (год) | 1478 (1980) | 0,10 (2013) | 56 (1992) | 0,02 (1989) | 447 (1980) | 0,09 (1997) | 639 (1980) | 0,11 (1994) | 163 (2013) | 0,02 (2013) |
| Максимум (год) | 2126 (2002) | 0,35 (1983) | 207 (1976) | 0,31 (1967) | 798 (2002) | 0,50 (1983) | 973 (2011) | 0,54 (2010) | 372 (1974) | 0,34 (1984) |
| <i>Характеристики линейного тренда</i> | | | | | | | | | | |
| α , клк ч | 20 | -0,03 | -6 | -0,04 | +20 | -0,03 | +5 | -0,02 | +1 | -0,02 |
| R | 0,82 | 0,9999 | 0,92 | 0,999 | 0,997 | 0,999 | 0,43 | 0,99 | 0,16 | 0,995 |
| $\Delta_{50, \%}$ | +2 | -51 | -22 | -85 | +18 | -51 | +3 | -35 | +2 | -45 |
| β , % | +1 | -14 | -5 | -30 | +3 | -14 | +1 | -9 | 0 | -12 |

Таблица 4

**Коэффициенты корреляции между годовым количеством освещения
и основными климатообразующими факторами**

| Параметр | EQ | ED | ES |
|--------------------------|-------------|-------------|-------------|
| No | -0,39 | -0,11 | -0,24 |
| Nn | -0,52 | 0,09 | -0,47 |
| AOT₅₅₀ | -0,07 | 0,66 | -0,47 |
| SSD | 0,77 | -0,37 | 0,84 |

Таким образом, для годового количества освещения за последние 50 лет отмечены тенденции к статистически значимым изменениям ES (увеличение) и ED (уменьшение) при положительном, но статистически незначимом росте EQ. Все изменения светового режима хорошо согласуются с колебаниями основных факторов, формирующих световой климат Москвы.

Сезонное количество освещения. Многолетние изменения количества освещения за сезон не всегда согласуются с характером изменений годовых величин. Так, несмотря на увеличение суммарной и прямой освещенности, зимы за последние полвека стали менее "светлыми" (табл. 5). Увеличение облачности и связанное с этим сокращение продолжительности солнечного сияния обусловило уменьшение ES (табл. 3, 4). Именно зимой отмечено наиболее существенное по сравнению с остальными сезонами увеличение количества облаков. Увеличение прозрачности атмосферы в зимний период в сочетании с малым количеством ясных дней и малыми высотами солнца не привело к изменению тенденций ES, а лишь снизило значимость ее линейного тренда. Уменьшение рассеянной освещенности зимой, обусловленное увеличением прозрачности атмосферы привело к уменьшению альбеда снега в среднем на 11% по отношению в середине 1960-х годов, причем статистически значимый линейный тренд Ак составил — 1,4 % за 10 лет (рис. 4а).

Таблица 5

**Сезонное количество естественного освещения в Москве, клк·ч
(1964—2013 гг.)**

| Характеристика | EQ | ED | ES |
|----------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| <i>Зима (декабрь — февраль)</i> | | | |
| Среднее (%) | 6284 (6*) | 5071 (8) | 1213 (3) |
| ± ДИ | 240 | 158 | 138 |
| СКО | 836 | 548 | 481 |
| V % | 13 | 11 | 40 |
| Минимум (год) | 4424 (1990) | 3955 (1990) | 315 (1992) |
| Максимум (год) | 7910 (1969) | 6400 (1984) | 2603 (1969) |
| Асимметрия | -0,20 | -0,09 | 0,49 |
| Эксцесс | -0,56 | -0,22 | 0,26 |
| Световой эквивалент, клк·ч /МДж·м ⁻² | 28 | 29 | 23 |
| <i>Характеристики линейного тренда</i> | | | |
| α, клк ч | -107 | -60 | -47 |
| Р | 0,79 | 0,72 | 0,67 |
| Δ ₅₀ , % | -8 | -6 | -17 |
| β, % | -2 | -1 | -4 |
| <i>Весна (март — май)</i> | | | |
| Среднее (%) | 37528 (34) | 22550 (34) | 14978 (35) |
| ± ДИ | 727 | 476 | 870 |
| СКО | 2557 | 1674 | 3063 |
| V % | 7 | 7 | 20 |
| Минимум (год) | 31519 (1974) | 18695 (2008) | 9198 (1980) |
| Максимум (год) | 44542 (2002) | 26234 (1984) | 23458 (2002) |
| Асимметрия | 0,17 | 0,08 | 0,18 |
| Эксцесс | 0,93 | -0,24 | 0,03 |
| Световой эквивалент, клк·ч /МДж·м ⁻² | 30 | 33 | 26 |
| <i>Характеристики линейного тренда</i> | | | |
| α, клк ч | +570 | -369 | +966 |
| Р | 0,98 | 0,98 | 0,999 |
| Δ ₅₀ , % | +8 | -8 | +38 |
| β, % | +2 | -2 | +6 |

| Характеристика | EQ | ED | ES |
|----------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| <i>Лето (июнь — август)</i> | | | |
| Среднее (%) | 51576 (47) | 29110 (44) | 22466 (52) |
| ± ДИ | 818 | 482 | 972 |
| СКО | 2879 | 1695 | 3419 |
| V % | 6 | 6 | 15 |
| Минимум (год) | 47188 (2000) | 26300 (1994) | 16114 (1993) |
| Максимум (год) | 58503 (2011) | 33124 (1992) | 31119 (2011) |
| Асимметрия | 0,29 | 0,41 | 0,10 |
| Эксцесс | -0,69 | -0,64 | -0,31 |
| Световой эквивалент, клк·ч /МДж·м ⁻² | 31 | 34 | 27 |
| <i>Характеристики линейного тренда</i> | | | |
| α , клк ч | +188 | -468 | +657 |
| R | 0,49 | 0,996 | 0,96 |
| Δ_{50} , % | +2 | -8 | +15 |
| β , % | +2 | -8 | +15 |
| <i>Осень (сентябрь — ноябрь)</i> | | | |
| Среднее (%) | 14613 (13) | 9981 (15) | 4632 (11) |
| ± ДИ | 420 | 186 | 330 |
| СКО | 1477 | 655 | 1162 |
| V % | 10 | 7 | 25 |
| Минимум (год) | 10804 (2013) | 7852 (2013) | 2643 (1990) |
| Максимум (год) | 18411 (1967) | 11652 (1967) | 6759 (1967) |
| Асимметрия | -0,04 | -0,13 | 0,24 |
| Эксцесс | 0,22 | 1,98 | -0,96 |
| Световой эквивалент, клк·ч /МДж·м ⁻² | 31,2 | 33,0 | 26,5 |
| <i>Характеристики линейного тренда</i> | | | |
| α , клк ч | -26 | -108 | +82 |
| R | 0,14 | 0,90 | 0,52 |
| Δ_{50} , % | -1 | -5 | +9 |
| β , % | 0 | -1 | +2 |

Примечание: при расчете зимнего количества освещения учитывается декабрь предыдущего года; см. обозначения в табл. 1;

* — в скобках указан вклад сезонной суммы в годовую в процентах.

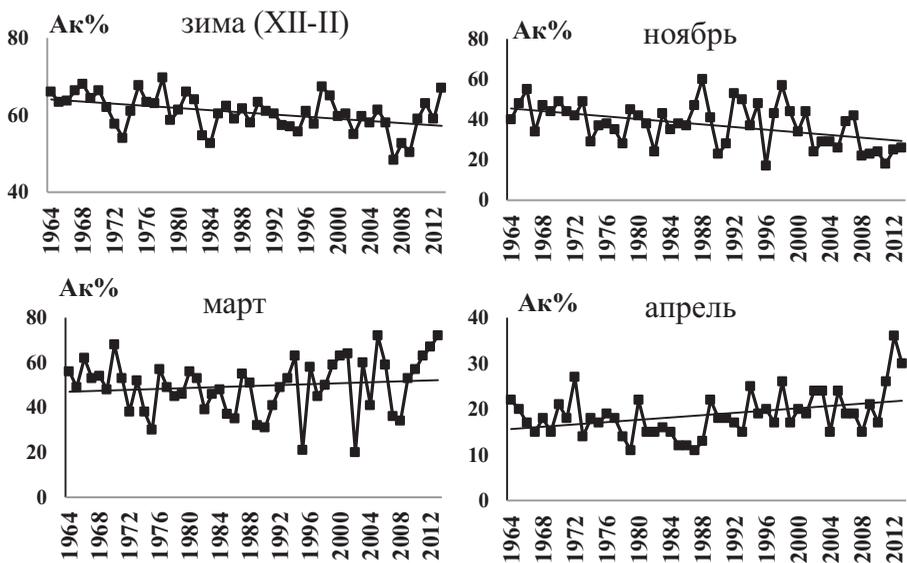


Рис. 4. Изменение полуденного альbedo подстилающей поверхности в Москве, 1964—2013 гг.

Весной тенденции изменения ES, ED и EQ совпадают по знаку с тенденциями соответствующих годовых значений. В этот сезон световой климат за последние 50 лет изменился наиболее значительно, а линейные тренды освещенности оказались статистически значимы (табл. 5). Именно весной заметнее всего выросли SSD и прозрачность атмосферы (см. табл. 4). Многолетнее изменение облачности в этот сезон года характеризуется разнонаправленными тенденциями: линейный тренд общей облачности положителен и значим с $P = 0,90$, а нижней, наоборот, отрицателен, хотя значимость его невелика (см. табл. 3), что, очевидно, можно объяснить существенным уменьшением нижней облачности в апреле. В марте и апреле выявлена положительная тенденция в полувековом изменении альbedo поверхности, причем,

если в марте она статистически незначима ($P = 0,62$), то в апреле она значима ($P = 0,99$) и составляет $1,3 \%/10$ лет ($\beta = 7 \%$) (рис. 4).

В целом для весеннего периода характерно увеличение ES и EQ (причем ES увеличивается сильнее) и уменьшение ED (см. табл. 5).

Все тенденции в изменении естественной освещенности, характерные для весеннего сезона, отмечены и в летний, с той лишь разницей, что EQ характеризуется преимущественно квазициклическими изменениями, а линейная тенденция выражена слабее, чем весной. Это связано с тем, что летом рост прямой освещенности менее значителен, чем весной (см. табл. 5).

Относительная величина линейного тренда ED весной и летом практически одинакова. Это объясняется тем, что летом заметно выросло количество общей облачности на фоне циклического изменения нижней. Кроме того, за рассматриваемый период времени величины AOT_{550} уменьшились и выросла продолжительность солнечного сияния. Вполне возможно, что здесь сыграли роль и три периода с дымной мглой (1972, 2002, 2010), и несколько периодов с большим количеством вулканического аэрозоля (Эль-Чичон, 1982—1983, Пинатубо, 1991—1992 гг.), которые существенно увеличивали замутнение атмосферы (см. табл. 2, 3).

Осенью статистически значимое изменение освещенности отсутствует, хотя тенденции изменения ED и ES аналогичны тенденциям годовых сумм (см. табл. 5). При этом уменьшение ED наиболее значительно.

Так как облачность и продолжительность солнечного сияния меняется слабо (см. табл. 3, 4), вполне вероятно, что уменьшению ED способствовало существенное уменьшение альбедо земной поверхности, которое было отмечено в ноябре (линейный тренд $A\alpha$ статистически значим с $P = 0,999$, $\alpha = -3,3 \%/10$ лет, $\beta = -9 \%$ — самый значимый тренд для месяцев со снежным покровом, рис. 4). Кроме того, осенью также значимо растет прозрачность атмосферы (см. табл. 4).

Выводы

В течение второй половины XX и первой декады XXI века в Москве прямая и суммарная освещенность возросла в среднем на 20 и 3 % соответственно, а рассеянная освещенность уменьшилась на 7 %.

В годовом ходе поступление общей световой энергии за период 1964—2013 гг. заметно уменьшилось в зимний период, а весна стала более «светлой». Летом и осенью изменения EQ невелики. Статистически значимый рост EQ отмечен в апреле и июле ($P > 0,95$, $\alpha = 281/10$ лет клк·ч и $\alpha = 333/10$ лет клк·ч соответственно).

Количество освещения рассеянным светом весь год и каждый месяц в отдельности уменьшается, особенно в теплый период года. Статистически значимое уменьшение ED отмечено в течение полугода: январь, апрель — июнь, август и ноябрь.

Для прямой освещенности характерен заметный рост. За исключением февраля и ноября, во все остальные месяцы года прослеживается положительная тенденция изменения ES. Наиболее значителен тренд ES в апреле, мае и июле ($P > 0,95$, $\alpha = 410, 407$ и 412 клк·ч /10 лет соответственно), что и обусловило существенный рост этой составляющей светового потока весной и осенью.

Если принять во внимание квазициклическую природу изменения световых потоков, то можно предположить, что в ближайшие несколько лет может произойти перелом в характере поступления световой энергии, что приведет к некоторому уменьшению прямой освещенности и росту рассеянной. Тенденция изменения суммарной освещенности будет зависеть от соотношения ее составляющих.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абакумова Г. М., Горбаренко Е. В. (2008). Прозрачность атмосферы в Москве за последние 50 лет и ее изменения на территории России. — М.: Издательство ЛКИ. 192 с.

Абакумова Г. М., Горбаренко Е. В., Незваль Е. И., Шиловецова О. А. (2012). Климатические ресурсы солнечной радиации Московского региона. — М.: ЛИБРОКОМ. 312 с.

Аверкиев М. С. (1950). Освещенность различно ориентированных поверхностей рассеянным светом атмосферы по наблюдениям в Москве // *Вестник МГУ. Сер. физ., мат. и естественных наук.* Вып. 2. № 3. С. 163—170.

Аверкиев М. С. (1960). *Метеорология. Световые и электрические явления в атмосфере.* — М.: Изд. МГУ. 167 с.

Былов М. Н. (1933). О колебаниях естественной освещенности в течение дня // *Труды I всесоюзной конференции по естественному освещению.* Вып. III. С. 17—24.

Былов М. Н. (1935). Установка для регистрации естественной освещенности // *Труды Всесоюзной электротехнической ассоциации. Естественное освещение промышленных предприятий. Материалы совещания по естественному освещению / Под ред. А. А. Гершун, В. А. Зеленкова и В. В. Мешкова.* — М.-Л. Т. IV. С. 20—27.

Бюллетень метеорологической и актинометрической обсерватории имени В. А. Михельсона (1935). / Под ред. В. И. Виткевича. — Сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева. М.: Стеклография метеорологической и актинометрической обсерватории имени В. А. Михельсона. 56 с.

Бартенева О. Д., Полякова Е. А. (1965). О световом эквиваленте радиации в условиях сухой атмосферы // *Труды ГГО.* Вып. 169. С. 3—10.

Бартенева О. Д., Гусева Л. Н. (1957). Режим естественной освещенности в зависимости от метеорологических условий // *Труды ГГО.* Вып. 68. С. 120—131.

Бартенева О. Д., Полякова Е. А., Русин Н. П. (1971). Режим естественной освещенности на территории СССР. — Л.: Гидрометеиздат. 238 с.

Вайнберг В. Б., Гершун А. А. (1935). Новые методы изучения естественного освещения помещений // *Светотехника.* № 6. С. 1—5.

Галанин Н. Ф. (1935). Освещенность диффузным светом атмосферы в Ленинграде. — *Труды Всесоюзной электротехнической ассоциации. Естественное освещение промышленных предприятий. Материалы совещания по естественному освещению / Под ред. А. А. Гершун, В. А. Зеленкова и В. В. Мешкова.* М.-Л. Т. IV. С. 13—16.

Галанин Н. Ф. (1939). Освещенность диффузным светом атмосферы в Ленинграде по наблюдениям за 4 года (1931—1934) // *Метеорология и гидрология.* № 4. С. 8—12.

Гусев Н. М., Никольская Н. П. (1968). О светоклиматическом районировании территории Союза // В сб.: "Естественное освещение и инсоляция зданий" / Под ред. проф. Н. М. Гусева. — М.: Изд-во литературы по строительству. С. 5—11.

Данциг Н. М., Мамонтова Л. И. (1935). Год наблюдений за освещенностью Москвы // *Труды и материалы НИИ гигиены труда и промсанитарии.* Вып. 4. С. 52—62.

Дашкевич Л. Л. (1936). К практике расчетов коэффициентов естественной освещенности // *Светотехника.* № 10. С. 134—136.

Евневич Т. В. (1963). Исследования светового режима Москвы // Вестник МГУ, Серия география. № 4. С. 38—43.

Евневич Т. В. (1965). Регистрация естественной освещенности в Москве // В сб. Климат большого города. — М.: Изд. МГУ. С. 180—186.

Евневич Т. В., Никольская Н. П. (1968). Некоторые характеристики наружной освещенности в Москве // В сб.: Естественное освещение и инсоляция зданий. — М.: Изд. литературы по строительству. С. 11—23.

Егорченков В. А. (2011). Естественное освещение помещений и биоритмы человека // Светотехника. № 5. С. 61—64.

Зачек С. И., Бычкова А. П., Соколенко С. А. (1988а). О некоторых результатах натуральных испытаний люксметров на кремниевых фотодиодах ячеистой структуры // Труды ГГО. Вып. 519. С. 74—81.

Зачек С. И., Клеванцова В. А., Саприцкий В. И., Столяревская Р. И. (1988б). О метрологическом обеспечении измерений естественной освещенности // Труды ГГО. Вып. 519. С. 82—86.

Зеленков В. А. (1934). Естественное освещение. — Л. 143 с.

Зеленков В. А. (1935). О световом климате СССР // Светотехника. № 6. С. 10—16.

Йоффе К. И. (2008). Биологическое влияние видимого света на организм человека // Світлотехніка та електроенергетика. № 3. С. 21—29.

Каледкина А. С. (1943). Естественная освещенность в Советском секторе Арктики // Проблемы Арктики. № 1. С. 129—143.

Калитин Н. Н. (1935). Об изучении естественной освещенности // Светотехника. № 6. С. 5—7.

Калитин Н. Н. (1938). Актинометрия. — Л-М.: Гидрометеиздат. 324 с.

Калитин Н. Н. (1940). Световой климат // Природа. № 1. С. 30—36.

Калитин Н. Н. (1947). Развитие актинометрических работ в СССР за последние 30 лет // Известия АН СССР. Серия географическая и геофизическая. Т. XI. № 5. С. 433—439.

Климат, погода, экология Москвы (1995) / Под ред. Ф. Я. Клинова. — Л.: Гидрометеиздат. 438 с.

Лось Л. И. (1946). Освещенность рассеянным светом атмосферы в Саратове // Гигиена и санитария. № 6. С. 10—16.

Лопухин Е. А. (1935). Дневное освещение в Ташкенте // Известия АН СССР. Т. 1. № 9.

Лопухин Е. А. (1953). Дневное естественное освещение в Ташкенте // Изв. АН СССР. Сер. Геофизическая. № 5. С. 469—473.

Луцко Л. В. (1969). Соотношение видимой и фотосинтетически активной радиации // Труды ГГО. Вып. 237. С.113—116.

Луцко Л. В., Махоткина Е. Л., Клеванцова В. А. (2001). Развитие наземных актинометрических наблюдений // В сб.: Современные исследования главной геофизической обсерватории. — СПб: Гидрометеиздат. Т. 2. С. 184—202.

Мешков В. В., Смелянский З. Б. (1934). Гигиена освещения. Руководство для студентов санитарно-гигиенических факультетов и для промышленно-санитарных врачей. — М.-Л.: Биомедгиз. 336 с.

Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. (1985). — Л.: Гидрометеиздат. Вып. 3. Ч. 1. 302 с.

Небольсин С. И. (1949). Итоги работы агрометеорологической станции Собакино за 25 лет (1915—1941 гг.) // Труды ЦИП. Вып. 10 (37). 111 с.

Никольская Н. П. (1967). К расчету некоторых составляющих светового климата // Гелиотехника. № 3. С.42—45.

Никольская Н. П., Евневич Т. В., Янишевский Ю. Д., Луцко Л. В. (1972). Рекомендации по учёту светового климата при проектировании естественного освещения // Строительная светотехника. Вып. 5 (19). С. 15—105.

Олинский Г. Э. (1932). Влияние большого города на естественную освещенность // Журнал геофизики. Т. III. № 3—4. С. 322—327.

Поспелов А. Н. (1931). Материалы по изучению освещенности в г. Воронеже / В сб.: Тезисы I Всесоюзной конференции по естественному освещению. — Л. С. 3.

Ремизов Г. А. (1928). Освещенность диффузным светом неба в Ялте в 1927 г. // Курортное дело. № 7. С. 15—23.

Розенталь В. А., Чубарова Н. Е., Изакова О. М., Шараев Г. А. (1999). Мониторинг радиационных потоков аппаратно-программным комплексом SUN // Оптика атмосферы и океана. Т. 12. № 1. С. 82—86.

РД 52.04.562-96. (1997). Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 5. Актинометрические наблюдения. Часть 1. Актинометрические наблюдения на станциях. — М.: Росгидромет. 222 с.

Справочник эколого-климатических характеристик Москвы (2000) / Под ред. д.г.н. А. А. Исаева — М.: Изд-во МГУ. Том 1. 310 с.

Тарасова Т. А., Ярхо Е. В. (1991). Определение аэрозольной оптической толщины атмосферы по наземным измерениям интегральной солнечной радиации // Метеорология и гидрология. № 12. С. 66—71.

Труды I Всесоюзной конференции по естественному освещению. Вып. 1. Общие данные о конференции и резолюции (1931). — М.-Л.: Полиграф. лаб. ЛГУ. 16 с.

Труды I Всесоюзной конференции по естественному освещению. Вып. 2. Доклады (1932). — М.-Л.: Государственное энергетическое издательство. 136 с.

Труды I Всесоюзной конференции по естественному освещению. Вып. 3. Доклады (1933). — М.-Л.: Государственное энергетическое издательство. 192 с.

Труды Всесоюзной электротехнической ассоциации (1935). Т. IV. Естественное освещение промышленных предприятий / Под ред. А. А. Гершун, В. А. Зеленкова и В. В. Мешкова. — Л.-М.: Объединенное научно-техническое издательство. Главная редакция строительной литературы. 56 с.

Чудаков А. П. (1935). Некоторые данные по измерению дневной освещенности // Техническая физика. Т. V. Вып. 1.

Таблицы для расчета природной освещенности и видимости (1945). / Составлены астрофизической лабораторией Ленинградского университета под рук. проф. В. В. Шаронова. — М.-Л.: Изд. АН СССР. 198 с.

Янишевский Ю. Д. (1947). О программе и методах наблюдений на сети актинометрических станций // Труды ГГО. Вып. 5 (67). С. 32—37.

Янишевский Ю. Д. (1957). Фотометрические наблюдения в Павловске и соотношение между светом и радиацией // Труды ГГО. Вып. 68. С. 102—119.

Kimball H. H., Hand I. H. (1921). Sky brightness and daylight illumination measurements // Monthly Weather Rev. V. 49. № 9.

Kimball H. H., Hand I. H. (1922). Daylight illumination on horizontal, vertical and sloping surfaces // Monthly Weather Rev. V. 50. № 12.

Shilovtseva O. A. (2001). The experience of the visual solar radiation measurements in the Moscow State University Meteorological Observatory. — In: IRS 2000: Current Problems in Atmospheric Radiation, W. L. Smith and Yu. M. Timofeyev (Eds.). A. Deepak Publishing, Hampton, Virginia. P. 1117—1120.

УДК 551.006 (46+57)

ПЕРИФЕРИЙНЫЕ ПОДСИСТЕМЫ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ АЭРОДРОМНЫХ И СЕТЕВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНО- ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Д. Н. Медведев¹, С. М. Персин²

¹Институт геофизического приборостроения

²Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова

194021 Санкт-Петербург, Карбышева, д. 7

E-mail: igp@igp.spb.ru

Поступила в редакцию 5.08.2014

Поступила после доработки 13.10.2014

Введение

Развитие авиационного транспорта, увеличение интенсивности практически круглосуточных полетов во всем мире осложняет обстановку в воздушном пространстве, особенно в районах аэропортов.

Для организации и управления движением в воздушном пространстве аэропорта и непосредственно на аэродроме информация о метеорологической обстановке требуется не только диспетчерским службам, но и многочисленным потребителям, причастным к обеспечению безопасности взлета и посадки воздушных судов, достижению регулярности полетов. Получаемый от автоматизированной аэродромной метеорологической измерительно-информационной системы (АМИИС) комплекс данных должен распространяться и доводиться до конкретных исполнителей в необходимом составе и форме. Для этого требуется комплексная автоматизация задач метеорологического обслуживания аэродрома: метеорологического персонала, диспетчерского и лётного состава.

Современные компьютерные и телекоммуникационные технологии позволяют создать для этого автономные аппаратно-программные периферийные подсистемы, сопряженные с системой АМИИС.

Опыт разработки и использования таких подсистем в различных модификациях системы АМИИС-РФ представлен в настоящей статье.

1. Средства отображения ВИУ

Выносное информационное устройство (ВИУ) в общем случае состоит из компьютера (персонального или промышленного) с установленной на нем лицензионной операционной системой Microsoft® Windows Embedded или Microsoft® Windows 7 и подключенного к нему модема (аппаратуры связи), источника бесперебойного питания (ИБП), монитора, базового и специального программного обеспечения. ВИУ является аппаратно-программным комплексом (АПК), структура которого приведена на рис. 1.

ВИУ имеет два исполнения — настольное (на обычных ПК) и настенное (на промышленных ПК).

Промышленный компьютер типового АПК ВИУ — серийный компьютер на базе маломощных миниатюрных компонентов в портативном корпусе, не содержит вентиляторов и может быть размещен в условиях недостатка места, без необходимости подключения к нему клавиатуры и мыши, и обычно используется совместно с монитором только как пассивное средство отображения метеоинформации.

Размер корпуса одного из типов (ulBX-200) ПК в сантиметрах составляет примерно $10 \times 10 \times 5$, а масса — порядка 0,3 кг. В нем предусматривается прием и передача данных посредством как проводного, так и беспроводного соединения (в этом случае не требуется внешний модем). Внешний вид ПК приведен на рис. 2.

Предпочтительный вариант размещения ВИУ с подобными ПК — настенный (с применением кронштейна). Размер монитора выбирается из ряда от 12" до 24" и выше.

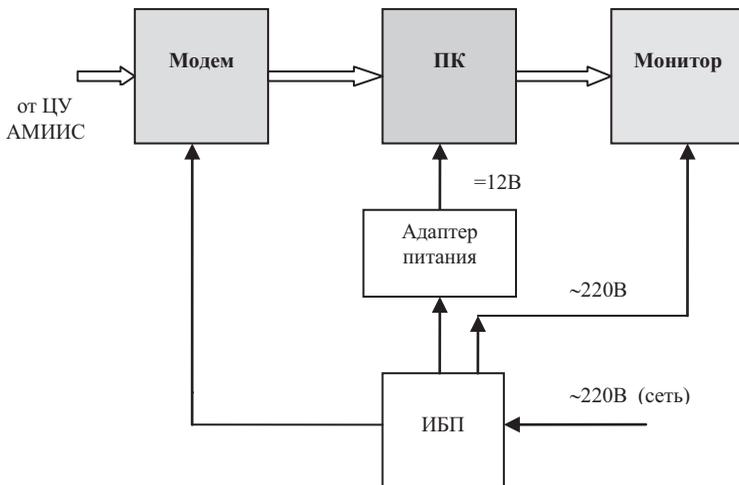


Рис. 1. Структурная электрическая схема АПК ВИУ.
 ЦУ – центральное устройство АМИИС;
 АМИИС – аэродромная автоматизированная информационно-измерительная система;
 ПК – персональный или промышленный компьютер;
 ИБП – источник бесперебойного питания;
 ПО – программное обеспечение (базовое и прикладное);
 информационный канал;
 канал электропитания.



Рис.

2. Внешний вид компактного промышленного компьютера.

Несколько ВИУ, размещенных в разных местах, могут быть подключены к центральной системе АМИИС в следующих вариантах:

- прямое,
- параллельное,
- с использованием локальной сети,
- с применением только одного ПК с видеосплиттером на выходе, к которому подключены несколько мониторов,
- комбинированное, сочетающее в себе все или часть перечисленных вариантов.

Выбор варианта определяется конкретными условиями реализации системы на аэродроме. На рис. 3 приведены два примера, иллюстрирующие первый и четвертый варианты из вышеперечисленных.

Вариант, представленный на рис. 3б, является наиболее экономичным, т. к. для большого количества мониторов (до 8) требуется всего один ПК и сплиттер. При этом мониторы должны находиться на расстоянии не более 65 м от сплиттера.

В общем случае дистанционность передачи информации на ВИУ для системы АМИИС АМИС-РФ может достигать 10 км.

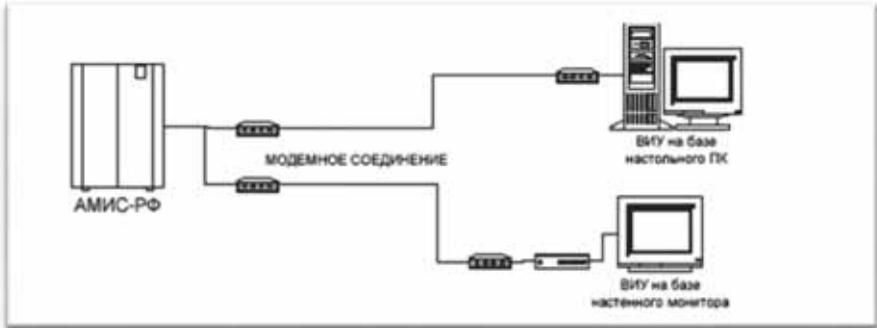
Программное обеспечение (ПО) состоит из операционной системы и прикладного ПО, включающего базовое и специализированное.

Базовое ПО обеспечивает работу ВИУ вне зависимости от особых задач пользователей, специализированное — реализует специальные требования пользователя.

В задачи базового ПО входят:

- прием сообщений по различным каналам связи, содержащих метеоинформацию от ЦУ АМИИС;
- отображение принятой информации в графическом и цифровом виде;
- звуковая сигнализация о поступлении важной информации;
- архивация всей поступающей метеоинформации;
- отсылка в ЦУ АМИИС подтверждений о получении информации и сообщений контроля канала связи.

а)



б)



Рис. 3. Варианты подключения ВИУ к АМИС.

а — прямое подключение нескольких ВИУ по независимым выделенным линиям с использованием модемов (в комплекте), возможностью отображения информации на разных ВИУ.

б) — подключение нескольких средств отображения (мониторов) к одному ПК ВИУ с помощью распределителя видеосигнала.

Специализированное программное обеспечение позволяет отображать поступающую с АМИИС метеоинформацию в удобном для пользователя виде. Состав информации и частота ее выдачи могут быть гибко настроены в соответствии с требованиями пользователя. Вся поступающая на ВИУ информация архивируется и может сопровождаться звуковой сигнализацией.

Специализированное ПО обеспечивает:

- отображение метеоинформации специфичной для разных групп пользователей;
- обеспечение различных представлений отображаемой метеоинформации;
- просмотр, выгрузка архивированной метеоинформации;
- возможность удаленной передачи в АМИИС данных от различных служб и подразделений (прогнозы, информация оператора МРЛ и пр.).

Результатом такой обработки является воспроизведение полученной информации в виде одного и того же или различных окон на дисплеях мониторов ВИУ (рис. 4, 5).

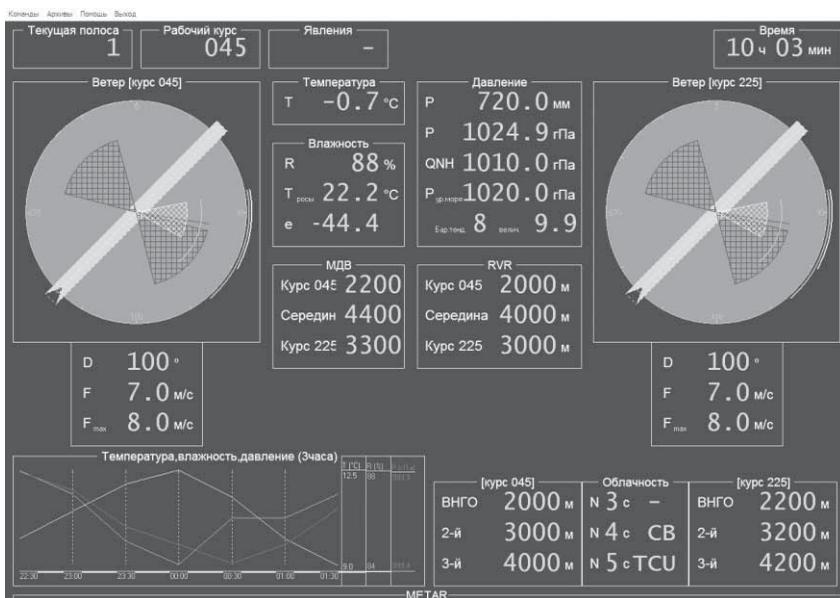


Рис. 4. Окно с полной информацией о погоде на ВПП для метеоперсонала.

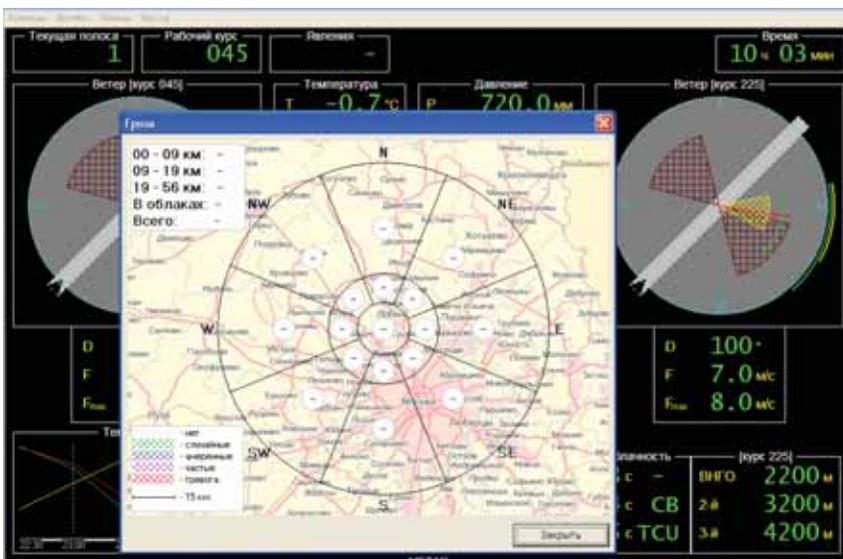


Рис. 5. Отображение с окном информации от грозопеленгатора.

1.1 Функционирование ВИУ

Компьютер центральной системы АМИС производит обработку поступившей от датчиков и оператора информации, вычисление производных метеовеличин по заданным алгоритмам, формирует информацию для передачи на средства отображения, включая ВИУ, службе руководства и управления полетами, в линии связи в кодах METAR/SPECI и KN-01.

Техник-метеоролог осуществляет контроль за работой системы и метеоинформацией, выдаваемой на средства отображения и в линии связи. При необходимости он осуществляет ее коррекцию, используя дисплей Центрального Устройства АМИС-РФ, клавиатуру и манипулятор (мышь).

Сообщения от АМИС-РФ поступают на ВИУ круглосуточно, поскольку она работает непрерывно. Обмен информацией между ВИУ и АПК АМИС-РФ осуществляется по специальному протоколу.

ВИУ функционирует следующим образом.

На вход ВИУ от АМИС-РФ поступает сформированное ею сообщение с заданной периодичностью. Состав и форма представления метеоданных на ВИУ полностью соответствуют информационному окну АПК «Блок индикации». Это сообщение находится под контролем оператора-метеоролога ЦУ, т. к. с помощью дисплея, клавиатуры и мыши он осуществляет:

- ручной ввод метеовеличин, не измеряемых автоматически, а также других параметров, необходимых для определения (вычисления) производных метеовеличин;
- установку периодичности выдачи метеоинформации;
- контроль за выдаваемой на средства отображения и в линии связи метеоинформацией и ее коррекцию (при необходимости);
- контроль за работоспособностью датчиков метеовеличин, средств отображения и центральной системы.

Поступившее на ПК ВИУ через модем или адаптер указанное сообщение обрабатывается по алгоритмам, реализуемым ранее упомянутым базовым и специализированным ПО.

Временной интервал обновления метеоинформации, устанавливаемый техником-метеорологом, составляет 1, 2, 5, 10, 15, 30 и 60 мин. При возникновении опасных для авиации атмосферных явлений или наступлении (усилении) пороговых значений метеовеличин, установленных для аэродрома, немедленно (не более чем через 15 с) выдается специальная (штормовая) информация. Информация об окончании неблагоприятного явления или переходе пороговых значений метеовеличин в сторону улучшения передается через 2 мин после окончания или перехода пороговых значений в сторону улучшения.

При передаче информации о возникновении или переходе пороговых значений метеовеличин в сторону ухудшения на средствах отображения (БИ) дается звуковая сигнализация.

Возможно отображение на экране ВИУ дополнительной информации (например, информация о ветре на высоте круга, сдвиг ветра, сообщения METAR и т. д.). Включение дополнительной информации оговаривается при заказе АМИС-РФ.

В случае непоступления метеоинформации на ВИУ на рабочий

дисплей (монитор) техника-метеоролога выдается сигнал отказа (аварийный сигнал).

Предусмотрена возможность получения новой информации по запросу оператора.

С любого ВИУ обеспечен внеочередной вызов (запрос) метеоинформации.

Предусмотрена архивация (запоминание на жестком диске компьютера) всех сообщений, поступающих из АПК АМИС-РФ. Вся информация хранится не менее 3 месяцев (согласуется с пользователем).

На ВИУ отображается текущее время, т. к. в АМИС-РФ обеспечен счет времени и его хранение с погрешностью не более ± 5 с в сутки.

Состояние ВИУ находится под контролем АМИС-РФ: обеспечена сигнализация об отказе их, наряду с отказами блоков автоматики, и основных частей (блоков) системы.

1.2 Отображение информации о метеословиях на аэродроме

Основными используемыми вариантами конфигурации ВИУ и видом соответствующих отображений (окон) являются:

- ВИУ для замены табло БИ АИУ: состав информации и частота ее обновления полностью аналогичны системе БИ АИУ из комплекта КРАМС-2.

- ВИУ с расширенной информацией для работников метеослужб и квалифицированного персонала: содержит полную информацию о текущей погоде на ВПП с ежеминутным обновлением, а также графики хода основных метеовеличин за 3 и 24 часа (рис. 4—5).

Имеется также множество дополнительных вариантов с другим составом информации и дополнительными функциями ВИУ. Возможны практически любые изменения (модификацией программы) в составе и способе отображения в зависимости от конкретных требований.

Отображаемая информация, поступающая от АМИИС, определяется требованиями нормативных документов и документов ИКАО как по составу, так и по точности и периодичности обновления.

Результирующий объем отображаемой ВИУ метеоинформации, получаемой из автоматически сформированных АМИИС АМИС-РФ сообщений:

- дальность видимости на ВПП (RVR) (три значения);
- минимальное значение МОД (MOR), выбранное из 2-х или 3-х измеренных ИДВ значений;
- высота нижней границы облаков, измеренная у БПРМ, соответствующего курсу посадки;
- скорость и направление ветра, скользяще осредненные за 2 мин, соответствующие измеренным у порогов ВПП значениям мгновенной скорости и направления ветра;
- максимальная скорость ветра (порыва), скользяще выбранная за истекшие 10 мин из мгновенных значений скорости, измеренной датчиком у порогов ВПП;
- перпендикулярная к ВПП составляющая максимальной скорости ветра или коэффициент сцепления с ВПП;
- атмосферное давление, приведенное к уровню порога ВПП, гПа или мм рт. ст., округленное до целых единиц в сторону меньшего значения (десятыи доли отбрасываются);
- температура воздуха;
- относительная влажность или температура точки росы;
- атмосферные явления в цифрах кода (от 0 до 8);
- количество облаков (общее и нижнего яруса);
- вид сообщения («шторм» или «срочная»);
- наличие грозы и гололеда;
- время наблюдений (измерений).

2. Сопряжение АМИИС с автономными датчиками и системами

ВИУ, благодаря гибкости своего ПО, может быть использовано в качестве унифицированного средства отображения метеорологической информации, поступающей, в том числе, и от автономных метеорологических цифровых и интеллектуализированных датчиков и сложных систем различного назначения. При этом может быть

применена двухпроводная линия без коммутатора, поскольку запрос информации от датчика содержит его персональный адрес. В отличие от централизованных схем измерений, используемых традиционно, не потребуется подключения типа «звезда», что позволяет снизить общую длину цепей. Таким образом, на основе ВИУ может быть сформирована распределенная измерительная сеть — автоматизированная метеостанция или специализированная система мониторинга какой либо величины (например, скорости и направления ветра) в разных точках на большой площади или на разной высоте установки с визуальным отображением на экране.

В качестве примера, можно привести реализацию совместного отображения на одном экране информации, поступающей от АМИИС АМИС-РФ и автономной системы пеленгации грозовой активности.

Другим примером является расчет и отображение данных от датчиков ветра (подсистема определения вертикальных или горизонтальных сдвигов ветра).

3. Автономные аэродромные подсистемы

Автономные аэродромные подсистемы обеспечивают обработку и представление большого объема оперативной информации, получаемой от АМИС и/или комплекта собственных датчиков.

К числу таких подсистем, входящих в различные модификации системы АМИС-РФ входят подсистемы контроля состояния поверхности ВПП (ROSA), подсистема определения климатических характеристик аэродрома (АРМ «Климат»), подсистема формирования сетевой (синоптической и режимной) информации, подсистема сдвига ветра и др.

3.1. Подсистема контроля состояния поверхности ВПП

Подсистема получает информацию от распределенной сети датчиков, контролирующей состояние поверхности и покрытия ВПП, а также комплекта метеорологических датчиков: температуры и влажности воздуха, атмосферного давления, регистратора текущих явлений погоды (рис. 6).

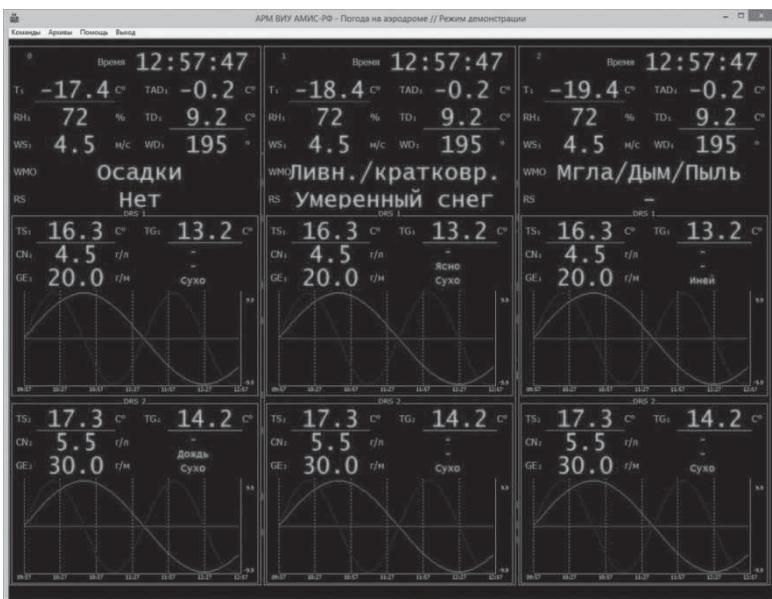


Рис. 6. Отображение с окном информации от системы ROSA.

Данные, поступающие от датчиков, предоставляются пользователю, а также используются для краткосрочного прогнозирования изменений состояния поверхности и выработки рекомендаций по обработке покрытия химическими реагентами. В базовой конфигурации возможно подключить до 3-х ведущих станций для каждой ВПП с полным комплектом ведомых станций и датчиков.

Результаты измерений и обработки поступают в систему АМИС-РФ и на рабочее место инженера-оператора.

3.2. Подсистема определения климатических характеристик аэродрома

Одной из существенных задач, решаемых периферийными средствами, является задача автоматизации составления климатической характеристики аэродрома. Получение репрезентативных климатических характеристик требует накопления

большого массива измерительных и наблюдательных данных, многочисленных архивов опасных и значимых для авиации явлений и условий, формирования месячных, годовых и многолетних таблиц повторяемости и продолжительности наблюдаемых характеристик множества параметров. Также необходимы определения суточных и годовых ходов, условий погоды различной степени сложности и опасных явлений.

Для решения вопросов автоматизации формирования климатических характеристик и описаний аэродромов в состав аппаратно-программного комплекса АМИС-РФ включены специальные программно-аппаратные модули, и в частности, автоматизированное рабочее место АРМ-Климат, решающее, совместно с другими компонентами системы, описанные задачи.

На рис. 7 отобрана структурно-функциональная схема АРМ Климат.

Данные временного архива в ядре АМИС-РФ формируются в получасовые сроки как результат осреднения за 10 минут, предшествующих этому сроку, из результатов непрерывных измерений и данных за полчаса, предшествующих сроку, при регистрации возникших явлений погоды. Для формирования архивов климатических данных используются не только данные, поступившие в систему в результате работы автоматических средств измерения (датчиков), но также и данные, введенные вручную наблюдателем в процессе оперативного метеорологического обслуживания взлета и посадки воздушных судов.

Информация, накопленная в базе данных, может быть в любой момент проверена оператором, в случае необходимости загружена повторно или изменена и дополнена. Информация за любые периоды наблюдения, присутствующая в базе данных, может быть распечатана или экспортирована на внешний носитель в стандартизованном формате для передачи другим потребителям.



Рис. 7. Структурно-функциональная схема АРМ-Климат.

На основе измерительной и наблюдательной информации, хранящейся в базе данных АРМ-Климат, с помощью средств, входящих в комплект программного обеспечения, метеоперсонал может выполнить формирование множества различных таблиц, графиков и диаграмм, необходимых для составления климатического описания аэродрома.

Для увеличения наглядности при графическом представлении данных широко используется цветовая маркировка, в том числе при выводе на печать.

Помимо обычных графиков для представления данных могут быть построены различные диаграммы.

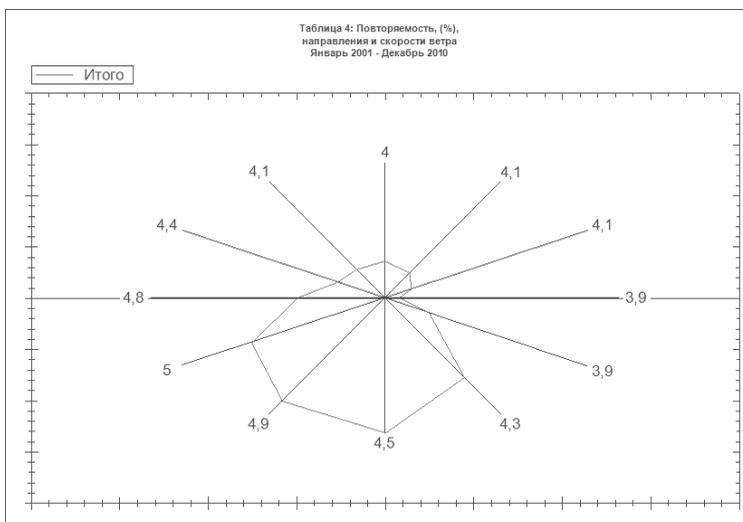


Рис. 8. Диаграмма повторяемости направления и скорости ветра.

Особо хотелось бы отметить такую особенность системы АРМ-Климат, как наличие модификации системы, позволяющей собирать, хранить и обрабатывать на одном АРМ данные, собранные на нескольких аэродромах и загруженные в единую базу данных. Такая модификация системы, ориентированная на использование в крупных авиаметеорологических центрах, позволяет решать задачи климатологического обслуживания малых аэродромов и посадочных площадок, не имеющих собственного персонала для выполнения таких работ.

3.3. Подсистема централизованного метеорологического обслуживания ряда аэродромов

Подсистема включает аппаратуру сбора, хранения, обработки и отображения оперативной информации, полученной с ряда аэродромов, в едином центре, что позволяет осуществлять

централизованное метеорологическое обеспечения локального "куста" аэродромов, повысить эффективность и уменьшить затраты.

4. Сетевые станции

Аналогичная задача визуального отображения результатов может быть решена с использованием ВИУ при осуществлении мониторинга состояния и функционирования автоматизированной сети метеорологических наблюдений. Сформированная к настоящему моменту автоматизированная сеть метеорологических приземных наблюдений (АСМН) Росгидромета содержит около 2 тыс. метеорологических измерительно-информационно-коммуникационных комплексов и состоит из локальных АСМН 23-х УГМС. Она должна обеспечивать потребителей высококачественной исходной метеорологической информацией с заданной периодичностью. В связи с этим важнейшим требованием, предъявляемым ко всем компонентам такой сети, является бесперебойность их функционирования. В основе ее обеспечения лежит непрерывное отслеживание состояния компонентов и систем, анализ наблюдаемых изменений и прогноз дальнейшего состояния, выработка оптимальных рекомендаций по мероприятиям, предупреждающим уход их от устойчивого работоспособного состояния, что составляет основное содержание мониторинга в рассматриваемой области. Его результаты должны непрерывно отображаться на рабочем месте руководителей УГМС, метеорологического отдела, а также служб (ЦТОР), осуществляющих техобслуживание и ремонт упомянутых комплексов. Окно, содержащее данные о мониторинге состояния локальной АСМН УГМС в сочетании с несколькими другими информационными окнами, например, окном, представляющим непрерывные (скользящие) графики поступления сообщений от локальной АСМН, будет отображать в наглядной форме полную непрерывную актуальную информацию, необходимую для эффективного управления состоянием бесперебойного функционирования локальной АСМН конкретного УГМС.

Заключение

Опыт применения различных подсистем АМИИС показывает эффективность использованных аппаратных и программных решений, прежде всего в области комплексной автоматизации метеорологического обеспечения авиации.

Анализ возможности расширения областей применения приводит к выводу о целесообразности адаптации его к решению родственных задач, связанных с развитием автоматизации сети наземных метеорологических и геофизических наблюдений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Авиационные правила (АП-170) (2013) / Т. П. Сертификационные требования к оборудованию аэродромов и воздушных трасс. — М.: МАК. 166 с.

Персин С.М. (2008). Современные тенденции развития аэродромных метеорологических информационно-измерительных систем // Метеоспектр. № 1. С. 140—142.

Персин С. М., Анискин Л. В., Медведев Д. Н., Попов В. Н. (2012). Автоматическое формирование информации о климатических характеристиках аэродрома //Труды ГГО. Вып. 566. С. 214—222.

**ПРИМЕНЕНИЕ КРИТЕРИЕВ РАСПОЗНАВАНИЯ ГРОЗОВЫХ
КУЧЕВО-ДОЖДЕВЫХ ОБЛАКОВ В АЛГОРИТМАХ
ВТОРИЧНОЙ ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ
ИНФОРМАЦИИ, ПОЛУЧАЕМОЙ С ПОМОЩЬЮ
МЕТЕОРАДИОЛОКАТОРОВ НОВОГО ТИПА**

Е. В. Дорофеев, М. В. Львова, И. Б. Попов, И. А. Тарабукин

Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова
194021 Санкт-Петербург, ул. Карбышева, д. 7
e-mail: rita_lvova@mail.ru,
popov_ib@mail.ru, tarabukin@mail.ru

Поступила в редакцию 21.02.2014
Поступила после доработки 14.04.2014

В настоящее время в нашей стране ведется активное переоснащение (модернизация) действующей сети «МРЛ-Штормооповещения» Росгидромета. На смену некогерентным радиолокаторам типа МРЛ-5, давно выработавшим свой технический ресурс, приходят современные доплеровские метеорологические радиолокаторы (ДМРЛ) С-диапазона отечественного производства, обладающие значительно более высокими техническими и эксплуатационными характеристиками (Ефремов и др., 2009). Как ожидается, при полном развертывании сети ДМРЛ-С к концу 2015 года большая часть ЕТР, юга Сибири и Дальнего Востока будут находиться в едином радиолокационном поле. Создание единого радиолокационного поля позволит, безусловно, поднять на качественно более высокий уровень решение задач штормооповещения, повысить заблаговременность прогноза, а за счет применения доплеровского и поляризованного каналов проводить многосторонний диагноз полей облачности.

Программно-вычислительные комплексы как эксплуатируемых МРЛ-5, так и внедряемых ДМРЛ, согласно действующему приказу Росгидромета № 95 от 21.06.2004 (Приказ, 2004), обеспечивают выполнение радиолокационных метеорологических наблюдений в авто-

матризованном режиме, обработку радиолокационных данных и формирование выходной информационной продукции. Выходная информационная продукция — это результат вторичной обработки (ВО) данных радиолокационного зондирования, представляемая потребителю в виде карт распределения метеорологических параметров, облачности и явлений с использованием различных алгоритмов и пороговых критериев распознавания.

С научно-методической точки зрения при построении сети на этапе опытной эксплуатации ДМРЛ необходимо обеспечить контроль качества получаемой радиолокационной информации, определяемого, в том числе, корректностью используемых алгоритмов.

Цель настоящей работы — исследование качества заложенных в алгоритмы ВО критериев распознавания полей опасных явлений погоды (ОЯП), связанных с кучево-дождевой облачностью (Cb).

В первой части работы приведены основные сведения о существующих алгоритмах распознавания и сформулированы статистические критерии, по которым может осуществляться контроль получаемой с помощью этих алгоритмов информации. Вторая часть работы содержит анализ результатов исследования качества радиолокационных данных об ОЯП, связанных с Cb, которые получены в ходе опытной эксплуатации трех ДМРЛ на позициях Валдай, Архангельск и Казань. В заключительной части статьи обсуждаются перспективные направления повышения качества этих алгоритмов.

Описание алгоритмов и критериев распознавания грозовых Cb

При проведении радиолокационного обзора основной информацией является мощность рассеянного облачными частицами и осадками сигнала, зависящая от отражающей способности (или отражаемости Z) этих частиц. Использование когерентных передатчиков с постоянной фазой генерируемого электромагнитного импульса позволяет определить доплеровский сдвиг частоты принимаемого сигнала, на основании чего рассчитываются средняя радиальная скорость движения гидрометеоров и ширина доплеровского спектра, которая при определен-

ных допущениях дает оценку степени турбулентности в импульсном объеме (Довиак и др., 1988). Дополнительную информацию получают на основании сравнения характеристик распространения горизонтально и вертикально поляризованных сигналов (Рыжков, 1993).

Тем не менее, в практике отечественной радиометеорологии задача распознавания ОЯП, связанных с Сб, решается в преобладающем большинстве только с использованием информации о профиле Z . Связано это с тем, что возможность широкого внедрения МРЛ с доплеровскими и поляризационными каналами появилась сравнительно недавно, тогда как основной научный задел в этом направлении был достигнут в 1960—1970 годах с использованием неавтоматизированных некогерентных радиолокаторов типа МРЛ-1, МРЛ-2 и далее МРЛ-5.

Задаче достоверного распознавания электрически активных Сб в этот период уделялось большое внимание, в Руководстве (1993) накопленный по этой части опыт обобщен в виде конкретных алгоритмов действий, выполняемых оператором МРЛ при обнаружении Сб. Наиболее широкое применение при этом получил так называемый комплексный Y -критерий, отражающий вероятностный характер связей радиолокационных характеристик с электрической активностью облаков:

$$Y = H * I g Z_{H*} \quad (1),$$

где H — максимальная высота радиоэха в конвективной ячейке;

$I g Z_{H*}$ — максимальное значение отражаемости на уровне, превышающем уровень нулевой изотермы H_0 на 2—2,5 км.

Условием наличия грозы является превышение Y некоторого порогового значения $Y_{кр}$.

Физический смысл Y -критерия заключается в том, что процесс массовой электризации облачных частиц, согласно общепринятым представлениям, связан с зоной кристаллизации переохлажденных капель, которая располагается обычно выше уровня H_0 на 2—2,5 км. В этом слое отмечается наибольший рост облачных частиц, который является косвенным индикатором разделения зарядов в Сб (Брылев и др., 1982). Таким образом, чем больше вычисленное значение Y , тем более вероятно грозное состояние кучево-дождевого облака. Поэтому

значение Y для данной конвективной ячейки сравнивается с заранее установленным пороговым значением $Y_{кр}$, при котором по результатам большого ряда наблюдений в данном регионе Сб находятся в грозовом состоянии. Выбор конкретной величины $Y_{кр}$ зависит от физико-географического региона и допустимого процента ложной идентификации грозовых Сб. В частности, в отечественной радиометеорологии закрепилась практика при отметке грозовых Сб указывать характеристику этого состояния по шкале 70-, 30- и 10-процентной вероятности ложной идентификации.

Позднее метод обнаружения гроз с использованием Y -критерия был усовершенствован путем ежедневной корректировки $Y_{кр}$ с использованием значения высоты изотермы -22 градуса ($H_{-22^{\circ}C}$), определяемой по данным ближайшего аэрологического зонда (Брылев и др., 1973). За основу был взят экспериментально доказанный факт того, что необходимым условием грозового состояния конвективного облака является превышение его высоты изотермы -22 градуса. Расчет $Y_{кр}$ было предложено проводить по формуле:

$$Y_{кр} = H_{-22^{\circ}C} * (lgZ3)_{MIN}, \quad (2)$$

где $(lgZ3)_{MIN}$ — минимальное значение радиолокационной отражаемости на высоте $H = H_0 + 2$ км, полученное при обобщении данных многолетних наблюдений за грозами в том географическом регионе, где проводятся радиолокационные наблюдения. Ввиду этого, численное значение $(lgZ3)_{MIN}$ часто называют «климатическим коэффициентом грозоопасности», характерным для данного региона ($(lgZ3)_{MIN} = 1 \dots 2$ дБ).

В более развитых методах деление конвективных облаков на грозовые и ливневые, согласно Руководству (1993), выполняется на основе применения дискриминантной функции, построенной по наиболее информативным предикторам: H_{BF} , $lgZ3$ и $H_{-22^{\circ}C}$.

По мнению авторов дальнейшего качественного развития описанные алгоритмы распознавания грозовых Сб за последние 20 лет не претерпели. Использование Y -критерия в той или иной модификации и оперирование понятием вероятностного распознавания грозы были заложены сначала при реализации систем автоматизации некогерентных МРЛ, а затем заимствованы в программных средствах вторичной

обработки ДМРЛ нового типа. Следует отметить, что опыт эксплуатации автоматизированных МРЛ показал, что в целом эти алгоритмы при правильной настройке пороговых значений $Y_{кр}$ решают задачи распознавания метеоявлений на высоком уровне без участия оператора.

Вместе с тем, при переходе на новые типы ДМРЛ, особенно на этапе опытной эксплуатации, актуальным является вопрос о возможности заимствования существующих критериев распознавания. Резонно предположить, что качественное улучшение технических характеристик радиолокационной аппаратуры и вычислительной техники, возможность получать в оперативном режиме дополнительную информацию о состоянии атмосферы, доступность численных моделей прогноза могли бы позволить повысить и качество работы алгоритмов распознавания ОЯП, связанных с Сб. Кратко этот вопрос обсуждается в конце статьи, по существу — это ближайшее перспективное направление работ в данной области. В рамках текущей публикации основное внимание будет уделено проблеме контроля качества получаемой радиолокационной информации, т. е. созданию инструмента, позволяющего проводить сравнительную характеристику тех или иных алгоритмов распознавания.

Следует отметить, что задача проведения объективного контроля качества радиолокационной информации также связана с методическим обеспечением работы сети «МРЛ-Штормооповещения» безотносительно типа используемых радиолокаторов и идентифицируемых ОЯП. В этой связи некоторые понятия и определения далее вводятся в наиболее общем виде и лишь затем уточняются при демонстрации результатов контроля.

Процедура определения качества радиолокационных данных об ОЯП

Объективная оценка качества радиолокационной информации, связанной с ОЯП различных классов, возможна только при выполнении ряда условий. Во-первых, должна быть доступна достоверная информация об этих явлениях, полученная независимо от МРЛ. Источ-

ником такой информации является наземная наблюдательная сеть Росгидромета, в обязанности которой входит формирование сообщений о наблюдаемых явлениях погоды в установленные моменты времени (восемь раз в сутки), оперативное оповещение об ОЯП (штормовые телеграммы), а также составление режимных данных о зафиксированных явлениях погоды по окончанию календарного месяца. Режимные данные в отличие от остальных проходят проверку в УГМС, а после этого передаются для хранения в Госфонд. Такая процедура контроля дает основание считать, что режимные данные по сравнению со штормовыми и срочными сообщениями содержат заведомо меньшее количество ошибок. С другой стороны это приводит к невозможности проводить контроль радиолокационной информации в оперативном режиме, однако для рассматриваемых в данной работе задач это обстоятельство не является значимым.

Важным преимуществом режимных данных является также то, что формат их представления требует указания времени действия всех зафиксированных явлений погоды с точностью до минуты, тогда как в срочных сообщениях, например, фиксируются только явления, действовавшие в период срока наблюдений. Поэтому в сопоставлении с режимными данными могут использоваться все результаты радиолокационных обзоров, проводимых с десятиминутным интервалом, т. е. объем выборки будет приблизительно в 10—15 раз больше, чем при использовании только информации в сроки наблюдений.

Следующим условием получения объективной оценки качества распознавания ОЯП по данным МРЛ является формализация процедуры сопоставления. Другими словами, необходимо определить, в каких случаях информацию об ОЯП в некоторой области пространства радиолокационного обзора можно считать подтвержденной наблюдателем на гидрометеостанции (ГМС), а в каких случаях эта информация является ложной.

Показателем качества радиолокационной информации об ОЯП будем считать совокупность двух статистических величин — вероятности распознавания ОЯП некоторого класса ($P_{OЯ}$) и вероятности ложной идентификации ($F_{OЯ}$), рассчитываемых по следующим формулам:

$$P_{OЯ} = \frac{\sum A(OЯ_{МРЛ} | OЯ_{ГМС})}{\sum A(OЯ_{ГМС})} \quad (3)$$

$$F_{OЯ} = \frac{\sum A(OЯ_{МРЛ} | \overline{OЯ_{ГМС}})}{\sum A(OЯ_{МРЛ})} \quad (4)$$

В этих формулах $A(OЯ_{МРЛ} | OЯ_{ГМС})$ и $A(OЯ_{МРЛ} | \overline{OЯ_{ГМС}})$ обозначают события обнаружения ОЯП по данным МРЛ при условии, что ОЯП того же класса, соответственно, было или не было зафиксировано на ГМС. Аналогично $A(OЯ_{МРЛ})$ и $A(OЯ_{ГМС})$ обозначают события обнаружения ОЯП по данным МРЛ или на ГМС, но безотносительно второго источника информации. Суммирование ведется по выборке, полученной за некоторый период наблюдений.

В настоящей работе для определения событий $A(\dots)$ используются понятия пространственного радиуса сопоставления R относительно места расположения ГМС и временного интервала сопоставления ΔT , привязанного к времени проведения радиолокационного обзора. Процедура сопоставления построена также с учетом того, что информация об ОЯП на радиолокационной карте представляется в дискретных ячейках некоторого размера (в данном случае 4×4 км). Таким образом, при расчете $P_{OЯ}$ в числителе формулы (3) суммируются все случаи, когда на радиолокационной карте в пределах радиуса R относительно некоторой ГМС присутствовала хотя бы одна ячейка с информацией об этом типе ОЯП, и действие этого явления было зафиксировано на ГМС в любой момент времени в пределах интервала ΔT . При расчете $F_{OЯ}$ в числителе формулы (4) суммируются все аналогичные случаи на радиолокационных картах, но при этом в пределах времени ΔT по данным ГМС ОЯП этого класса отсутствовали.

Подчеркнем еще раз, что пространственные границы сопоставления привязаны к точкам расположения ГМС в пределах радиолокационного обзора, а временные интервалы сопоставления задаются относительно времени проведения обзора. В знаменателе формулы (3) стоит сумма всех случаев, когда проводились радиолокационные обзоры и независимо от полученной радиолокационной информации в преде-

лах времени ΔT относительно времени каждого обзора на ГМС фиксировали ОЯП заданного типа. В знаменателе формулы (4) стоит сумма всех случаев, когда в пределах пространства радиусом R относительно ГМС на радиолокационной карте находилась хотя бы одна ячейка с ОЯП заданного типа независимо от наблюдаемых на станции явлений погоды. Если внутри пространства радиолокационного обзора расположены несколько ГМС, сопоставление проводится независимо по каждой станции и количество слагаемых в знаменателях формул (3) и (4) имеют порядок $N_{ws} * N_{sv}$, где N_{ws} — общее количество ГМС, а N_{sv} — количество радиолокационных обзоров, по которым проводится сопоставление.

Предложенную процедуру сопоставления не следует считать полностью универсальной. Так, временной интервал сопоставления можно выбирать разным в зависимости от того, присутствуют ли ОЯП заданного типа на радиолокационной карте или наблюдаются на ГМС. Например, в методике АМРК «Метеоячейка» (РД, 1992) указывается, что зафиксированные ОЯП следует считать совпавшими при выполнении тех же условий, что и в предложенной здесь процедуре, однако, если по данным МРЛ ОЯП заданного типа отсутствуют, то количество случаев ложной идентификации увеличивается только тогда, когда ОЯП по данным ГМС наблюдалось именно в момент проведения обзора, т. е. интервал ΔT не учитывается. Также можно варьировать пространственный радиус сопоставления в зависимости от удаленности ГМС относительно МРЛ, т. к. с увеличением расстояния уменьшается разрешающая способность радиолокатора. Тем не менее, в рамках текущих исследований эти соображения в учет не брались.

Алгоритм проведения сопоставления, построенный на основании описанной процедуры, был реализован в программе для ЭВМ «Статистика». Для сопоставления были подготовлены архивы радиолокационной информации и данные режимных наблюдений, реализованы дополнительные программные библиотеки доступа к этим данным. Программа «Статистика» позволяет по усмотрению пользователя варьировать границы сопоставления R и ΔT , что позволяет в частности учитывать тот факт, что наблюдатель может фиксировать грозу на

удалении 15—20 км, тогда как ОЯП других типов наблюдаются только в непосредственной близости от ГМС.

С помощью разработанной программы было проведено сопоставление и рассчитаны значения $P_{ОЯ}$ и $F_{ОЯ}$ грозовых Сб ($P_{ГРОЗ}$ и $F_{ГРОЗ}$) за грозовой период 2013 года. В исследовании были использованы радиолокационные карты распределения ОЯП трех ДМРЛ отечественной разработки, установленных на позициях Валдай, Архангельск и Казань, построенных в первую очередь программы модернизации. Интерес, в частности, представляет сравнительный анализ качества распознавания грозовых Сб радиолокаторами, установленными в различных климатических регионах. Фактически, представленные ниже результаты отражают то, насколько качественно работают реализованные в программных средствах алгоритмы вторичной обработки радиолокационных данных и настроены пороговые значения критериев, разделяющих ливневые и грозовые Сб.

Результаты сопоставления

Сопоставление радиолокационной информации проводилось по данным наблюдений на ГМС, расположенных в радиусе 200 км относительно каждого радиолокатора. В табл. 1 представлены полученные результаты по $P_{ГРОЗ}$, в табл. 2 — результаты по $F_{ГРОЗ}$, соответственно. Исследования проведены отдельно для каждого месяца, а также в целом для всего периода сопоставления. Границы сопоставления выбирались равными ± 10 минут относительно времени окончания обзора, а величина R выбиралась равной 20 и 10 км при расчете $P_{ГРОЗ}$ и $F_{ГРОЗ}$, соответственно, для того, чтобы, в первом случае, по возможности устранить погрешности пространственной локализации ячеек на радиолокационной карте, а во втором снизить влияние на результаты контроля случаев, когда наблюдателем не фиксировались относительно далеко расположенные грозы.

На основании представленных в таблицах 1 и 2 результатов можно сделать вывод о том, что как сами радиолокационные критерии распознавания грозовых облаков, так и их пороговые значения для соответствующих позициям ДМРЛ климатическим регионам, заложенные в

программу вторичной обработки радиолокационных данных, дают результаты, хорошо согласующиеся с данными ГМС, и таким образом, являются вполне приемлемыми.

Таблица 1

Результаты оценки процента оправдываемости и число подтвержденных радиолокатором случаев (в скобках) обнаружения грозовых облаков по каждой позиции ДМРЛ

| <i>Позиция ДМРЛ</i> | <i>Май 2013 г.</i> | <i>Июнь 2013 г.</i> | <i>Июль 2013 г.</i> | <i>Август 2013 г.</i> | <i>Май-Август 2013 г.</i> |
|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|---------------------------|
| Архангельск | — | 62,7 (195) | 60,0 (151) | — | — |
| Валдай | 78,5 (601) | 73,9 (909) | 73,4 (614) | 53,2 (284) | 70,6 (2576) |
| Казань | 100 (20) | 84,0 (198) | 94,6 (335) | 80,0 (88) | 89,2 (641) |

Таблица 2

Результаты оценки процента ложной идентификации гроз и число неподтвержденных станциями ННС случаев гроз (в скобках) по каждой позиции ДМРЛ

| <i>Позиция ДМРЛ-С</i> | <i>Май 2013 г.</i> | <i>Июнь 2013 г.</i> | <i>Июль 2013 г.</i> | <i>Август 2013 г.</i> | <i>Май-август 2013 г.</i> | |
|-----------------------|--------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|---------------------------|------------|
| Архангельск | | 23,4 (30) | 18,1 (15) | — | — | |
| | | 13,5 (5) | 13,0 (3) | — | — | |
| | | 6,3 (4) | 6,3 (3) | — | — | |
| Валдай | 16,9 (63) | 22,9 (139) | 41,3 (207) | 45,3 (92) | 28,4 (512) | |
| | | 9,8 (13) | 22,9 (14) | 29,6 (37) | 34,1 (15) | 21,9 (80) |
| | | 4,8 (17) | 10,9 (45) | 13,0 (35) | 8,4 (7) | 9,1 (107) |
| Казань | 78,6 (11) | 43,7 (55) | 33,2 (107) | 44,7 (34) | 38,5 (207) | |
| | | 66,7 (2) | 29,8 (14) | 18,2 (18) | 32,1 (9) | 24,3 (43) |
| | | 68,3 (28) | 23,8 (40) | 21,7 (45) | 37,9 (25) | 28,6 (138) |

Примечание: Сверху вниз в каждой ячейке перечислены значения, соответствующие вероятностным градациям радиолокационного распознавания гроз 30—70 %, 70—90 % и 90—100 %.

Кроме того, для каждой вероятностной градации обнаружения грозных облаков процент ложных случаев их идентификации на позициях «Валдай» и «Архангельск» практически всегда находится в пределах интервала, установленного этой градацией. Это свидетельствует о том, что для этих позиций ДМРЛ установленные пороговые значения критериев распознавания грозных облаков для всех вероятностных градаций в целом подобраны правильно.

Тем не менее, стоит отметить, что для ДМРЛ на позиции «Казань» процент ложной идентификации грозных облаков значительно превышает допустимые соответствующей вероятностной градацией пределы. Вместе с тем фактом, что процент оправдываемости гроз на этой позиции более высок при той же структуре применяемых для распознавания радиолокационных критериев, что и на других позициях ДМРЛ, наиболее вероятным объяснением полученных результатов являются заниженные пороговые значения критериев распознавания.

Заключение

Приведенные результаты оценки качества радиолокационного распознавания грозных Сб свидетельствуют о том, что заимствование алгоритмов и критериев распознавания из практики работы на неавтоматизированных радиолокаторах в программные средства вторичной обработки, которыми оснащаются современные ДМРЛ, в принципе позволяет добиться тех же показателей вероятности распознавания и процента ложной идентификации.

Дальнейшее развитие сети ДМРЛ-С в научно-методическом плане требует разработки комплексных критериев распознавания ОЯП, которые бы использовали не только доплеровскую и поляризационную информацию о распространении сигналов в облаках и осадках, но и информацию сторонних источников. Принятый регламентом работы сети десятиминутный интервал проведения обзоров, возможность получения различного типа радиолокационных полей с пространственным разрешением порядка нескольких сотен метров, доступность мощных вычислительных ресурсов, позволяющих на этапе анализа объединять данные в едином радиолокационном поле, дают основание

полагать, что радиолокационные методы идентификации ОЯП могут получить качественное развитие по сравнению с существующим положением дел. К сожалению, в отечественной практике на регулярной основе не проводились исследования по использованию доплеровской и поляризационной радиолокационной информации для распознавания метеоявлений. Имеющейся в зарубежных публикациях информации также недостаточно для внедрения подобных алгоритмов в оперативную практику. Поэтому прогнозировать насколько возможно улучшить методы распознавания на данный момент сложно.

В настоящее время для целей распознавания грозовых Св в оперативном режиме доступна информация грозопеленгационной сети, которая, согласно исследованиям В. С. Снегурова (2006), приводит к повышению оправдываемости распознавания этого класса ОЯП даже без построения сложных вычислительных алгоритмов. Перспективно для задач радиолокационного распознавания ОЯП использование расширенного набора данных аэрологического зондирования атмосферы, а также восстановление полей метеорологических элементов между сроками зондирования за счет применения численных моделей, дающих прогноз состояния атмосферы с подробным шагом сетки.

Однако для разработки методов усвоения всего указанного объема информации, позволяющих на основании достоверных результатов статистических исследований сформулировать новые комплексные критерии распознавания ОЯ, требуется решить ряд научно-методических задач. Усилия в этом направлении должны быть направлены на разработку методов многоступенчатого дискриминантного анализа. При отсутствии какого-либо из предикторов метод должен оставаться работоспособным, хотя при этом качество распознавания может быть ниже. Существенно при разработке метода проводить исследования того, как отсутствие того или иного предиктора влияет на конечный результат распознавания.

Представленные в работе материалы отражают результаты разработки технологии, позволяющей проводить объективную оценку качества радиолокационного распознавания ОЯП. Используя этот инструмент, возможно проводить оценку различных алгоритмов распо-

знания, а также решать задачи методического сопровождения сети «МРЛ-Штормоповещения».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Брылев Г. Б., Сальман Е. М. (1973). О возможном способе корректировки радиолокационного критерия грозоопасности // Труды ГГО. Вып. 281. С. 82—85.

Брылев Г. Б., Шведов В. В. (1982). Радиолокационные критерии грозоопасности в оперативной практике // Радиолокационная метеорология. № 2. С. 144—148.

Довиак Р., Зрич Д. (1988). Доплеровские радиолокаторы и метеорологические наблюдения / Пер. с англ. под ред. А. А. Черникова. — Л.: Гидрометеиздат. 385 с.

Ефремов В. С., Вовшин Б. М., Вылегжанин И. С., Лаврукевич В. В., Седлецкий Р. М. (2009). Поляризационный доплеровский метеорологический радиолокатор С-диапазона со сжатием импульсов // Журнал радиоэлектроники. № 10. С. 21—29.

Приказ № 95 о внедрении на радиолокационной сети Росгидромета «Основных технических требований к системе обнаружения опасных атмосферных явлений и штормового оповещения на базе метеорологических радиолокаторов». — Москва. 21.06.2004 г.

РД 52.04.320-91 (1993). Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5. — СПб: Гидрометеиздат.

РД 52.04. 000-92 (1996). Руководство по производству наблюдений на автоматизированном метеорологическом радиолокационном комплексе «Метеоячейка». — Санкт-Петербург. 126 с.

Рыжков А. В. (1993). Поляризационные методы метеорологической радиолокации // Зарубежная радиоэлектроника. № 4. С. 18—28.

Снегуров А. В., Снегуров В. С., Шаповалов А. В., Щукин Г. Г. (2006). Опыт совместных наблюдений за грозами грозопеленгатором-дальномером и метеорологическим радиолокатором // Труды НИЦ ДЗА (Филиал ГГО). Вып. 7 (555). С. 139—148.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОПОСТАВЛЕНИЯ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ
С ЦЕЛЬЮ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ КАЛИБРОВКИ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ РАДИОЛОКАТОРОВ**

Е. В. Дорофеев, М. В. Львова, В. Б. Попов, И. А. Тарабукин

Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова
194021 Санкт-Петербург, ул. Карбышева, д. 7
e-mail: rita_lvova@mail.ru, qoower@gmail.com,
tarabukin@mail.ru, zao_lit@rambler.ru

Поступила в редакцию 21.02.2014
Поступила после доработки 14.04.2014

На протяжении более 50 лет метеорологический радиолокатор (МРЛ) является основным источником получения информации о пространственном распределении конвективных явлений в двухсоткилометровом радиусе своего обзора. Сравнительно небольшая площадь охвата одного МРЛ (в сравнении, например, со спутниковыми данными) делают его незаменимым источником информации в задачах сверхкраткосрочного прогноза конвективных явлений с заблаговременностью, не превышающей 1—3 часа. Однако два или более МРЛ, зоны обзора которых имеют пересечения, дают возможность прогнозирования таких явлений на срок до 12 часов (Базлова и др., 2002). Минимизировать недостатки информации одного МРЛ и расширить возможности использования радиолокационной информации в синоптическом масштабе позволяет сеть МРЛ (Брылев и др., 1986). Этот факт в начале 60-х годов прошлого века стал одной из причин создания на территории СССР первой сети «МРЛ-Штормооповещения», состоящей из радиолокаторов отечественного производства МРЛ-2 и МРЛ-5.

В настоящее время в нашей стране сеть «МРЛ-Штормооповещения» находится в стадии модернизации. Производится введение в эксплуатацию новых метеорологических

радиолокаторов ДМРЛ-С. Для работы прогностических подразделений некоторую информацию, получаемую в ходе работы сети, необходимо отображать в виде совмещенной (композитной) радиолокационной карты.

Радиолокационное поле на композитной радиолокационной карте погоды должно быть однородно. Калибровка локаторов производится независимо, поэтому между данными, полученными от разных локаторов, могут возникать рассогласования.

После установки на сети и калибровки нового МРЛ необходимо провести комплексную проверку работы установленной системы в ходе опытной эксплуатации. Данные, накопленные в этот период наблюдений, могут быть использованы для сопоставления с радиолокационными данными соседних радиолокаторов, которые откалиброваны, работают в оперативном режиме и имеют с тестируемым общую зону перекрытия. Анализ такого сопоставления дает информацию о степени похожести конечных данных. На основе статистического анализа можно сделать вывод о том, в какой мере различаются радиолокационные характеристики одного и того же метеорологического объекта, измеренные разными радиолокаторами, и на какую величину необходимо подкорректировать коэффициент усиления приемного тракта и калибровочную кривую для получения однородных полей на композитной карте погоды (Руководство, 1993).

Целью данной статьи является нахождение рассогласования между работой двух радиолокаторов на основе статистического анализа архивов радиолокационной информации.

Для поиска связи между рядами наблюдений двух локаторов используется метод наименьших квадратов (Справочник, 1970).

Если тестируемый радиолокационный комплекс корректно установлен и настроен, то метеорологические радиолокационные данные (МРД) тестируемого и оперативно работающего радиолокаторов должны совпадать в пределах погрешности измерения соответствующих величин.

Алгоритм сопоставления

Для начала выбирается точка пространства, по возможности, равноудаленная от радиолокаторов. Для сопоставления используются МРД, измеренные в пределах области вокруг выбранной точки пространства. Область ограничена по горизонтали окружностью заданного радиуса. Также необходимо, чтобы данная область находилась в зоне устойчивого измерения МРД каждого из двух сравниваемых локаторов.

1. Определяется период наблюдений, в котором находятся интересующие измерения радиолокационной информации. Это может быть ограниченный период или весь имеющийся архив.

2. Из архива двух локаторов выбираются пары радиолокационных наблюдений с близкими сроками.

3. В каждом выбранном сроке считается среднее значение и среднеквадратичное отклонение (СКО) сопоставляемых МРД, находящихся в исследуемой зоне сопоставления.

4. Далее отсеиваются элементы выборки, имеющие относительно большое СКО. Это делается для того, чтобы выбрать наиболее однородные пространственные зоны. Неоднородные зоны указывают на кратковременные процессы, которые за промежуток времени между измерениями двух локаторов могут претерпеть сильные изменения, и поэтому сравнение таких измерений не имеет смысла.

5. После селекции выборки сроков строится диаграмма сопоставления средних значений МРД по заданной пространственной зоне для обоих локаторов.

6. По полученным точкам диаграммы методом наименьших квадратов находится линия тренда $y = Ax + B$ и рассчитывается коэффициент корреляции K .

7. По коэффициенту K можно оценить степень статистической связи между МРД, измеренными исследуемыми радиолокаторами. Отклонение в калибровке одного МРЛ относительно другого оценивается по коэффициенту A и B .

8. В случае, если коэффициенты A и K приближены к единице, а B к нулю, можно сделать вывод, что оба МРЛ работают одинаково. В

противном случае необходимо провести работы по выяснению причин рассогласования и их устранению.

Реализация

Для реализации алгоритма данной методики было создано специальное программное обеспечение (СПО) «Сопоставление радиолокационных полей».

Данное СПО выполняет следующие функции:

1. расчет средних значений и СКО МРД в зоне сопоставления;
2. проведение селекции выборки средних значений МРД по СКО;
3. проведение сопоставления выбранных по СКО средних значений МРД;
4. представление результата сопоставления средних значений МРД по зоне сопоставления в виде точечной диаграммы.

В области диаграммы также строится линия тренда. Уравнение линии тренда и коэффициент корреляции отображаются ниже области построения диаграммы.

Перед началом проведения работ по сопоставлению необходимо провести предварительный подбор двух параметров, необходимых для сопоставления: радиус зоны сопоставления и порог СКО, по которому будет происходить селекция выборки.

Пример проведения сопоставления

Работа программы иллюстрируется на примере сопоставления МРД двух радиолокаторов. Один из них, ДМРЛ «Метеор-Метеоячейка» (RUSP), находится на территории аэропорта Пулково. Второй – ДМРЛ-С (RUWJ) – находится вблизи города Валдай (Новгородская обл.). Сопоставление данных метеорологической радиолокационной отражаемости и высоты верхней границы облачности было проведено на основе архивных данных за май 2013 г.

Для сопоставления выбраны: зона с радиусом 10 км, находящаяся посередине между исследуемыми локаторами (рис. 1) и порог СКО, равный 4 дБ.

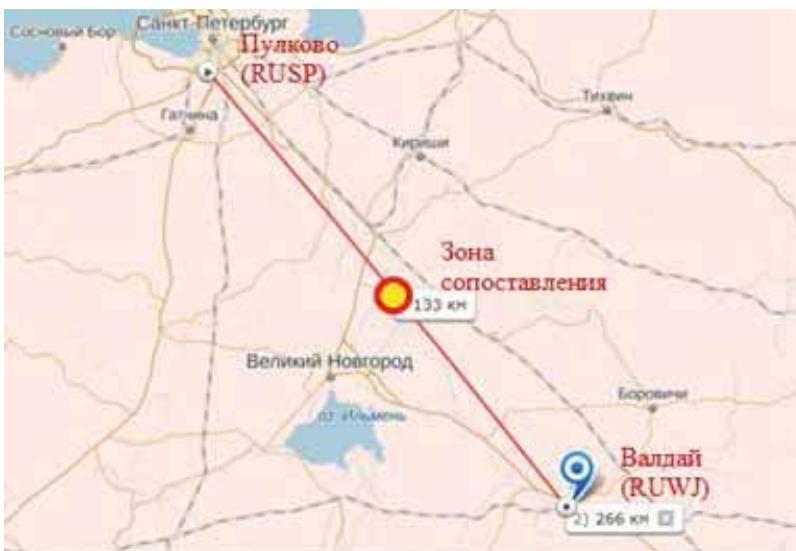


Рис. 1. Зона для сопоставления средних значений радиолокационной метеорологической отражаемости двух локаторов RUSP и RUWJ.

Сопоставление средних значений радиолокационной метеорологической отражаемости двух локаторов было проведено для зон, расположенных в трех слоях: слоя 2—3 км, слоя 3—4 км, слоя 4—5 км (рис. 2).

По полученным графикам можно считать, что сопоставление проведено, и существует зависимость между сопоставляемыми величинами, так как на всех графиках коэффициент корреляции K близок к единице. В то же время коэффициент A не равен единице, а коэффициент B не равен нулю, что свидетельствует о рассогласовании в калибровках МРЛ.

Таким образом, по полученным прямым можно корректировать коэффициент усиления приемного тракта.

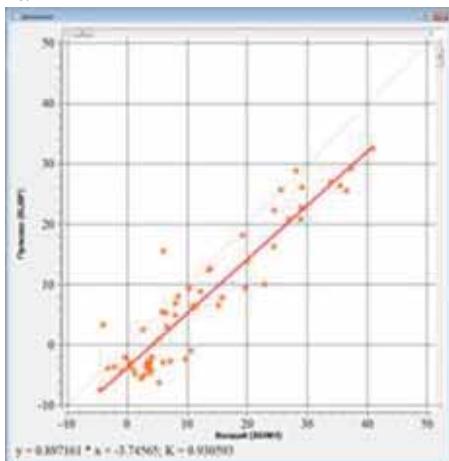
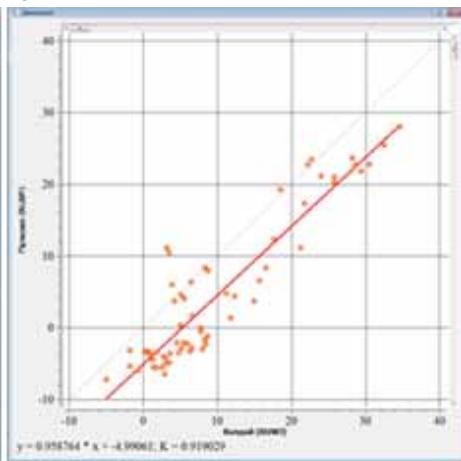
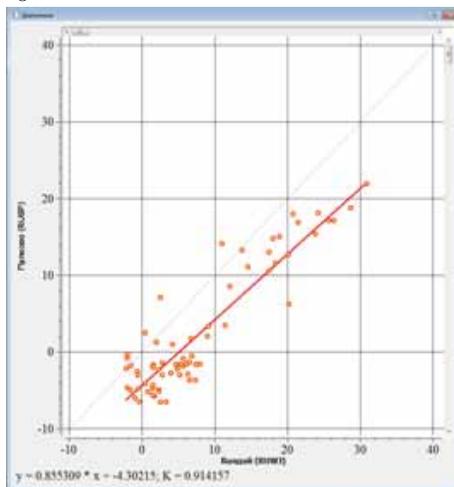
a*б**в*

Рис. 2. Результаты сопоставления средних значений радиолокационной метеорологической отражаемости

a — для слоя 2—3 км, *б* — для слоя 3—4 км, *в* — для слоя 4—5 км.

Другой радиолокационной информацией, используемой для сопоставления, стала высота верхней границы облачности, которая

была измерена в тот же период наблюдения, что и отражаемость. Результаты сопоставления представлены на рисунке 3.

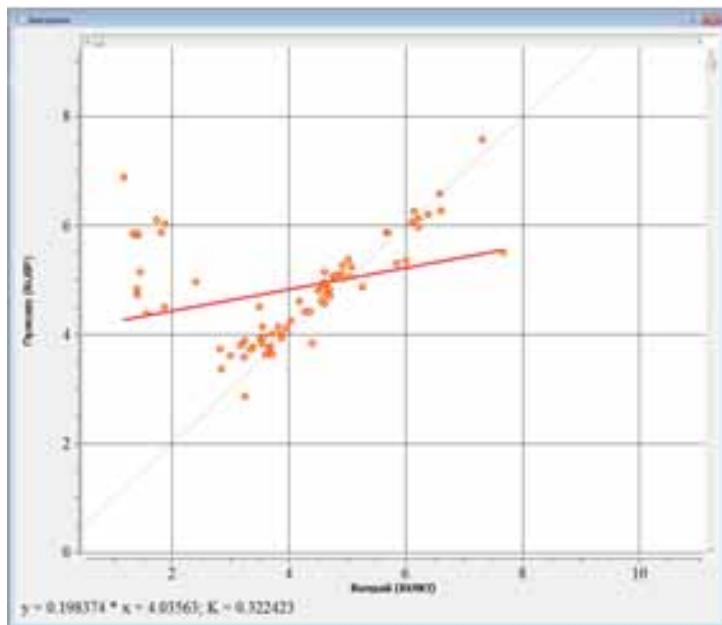


Рис. 3. Результаты сопоставления средних значений высоты верхней границы облачности.

По результатам сопоставления высоты верхней границы облачности коэффициент корреляции $K = 0,322423$. Полученное значение K значительно меньше единицы, следовательно, нельзя считать, что существует зависимость между сопоставляемыми величинами. С другой стороны, по графику видно, что основная масса точек лежит вблизи идеальной прямой $y = x$. И только некоторые из них находятся левее прямой.

Возможности СПО «Сопоставление радиолокационных полей» позволяют проверить любую пару сроков измерений с помощью средства визуализации МРД. На рисунке 4 показана пара измерений в режиме «Высота верхней границы» за один из сроков, точка на диаграмме которого лежит в отдалении от прямой $y = x$.

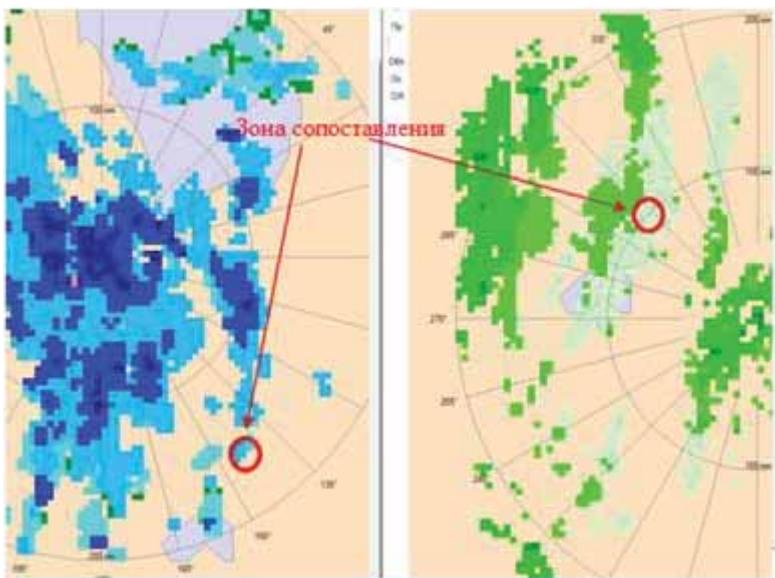


Рис. 4. Пара измерений с наименее схожими средними значениями высоты верхней границы облачности.

Из рисунка 4 видно, что в данном сроке высота верхней границы облачности, измеренная радиолокатором RUWJ, занижена. При проверке других выходящих из основной области точек были найдены такие же рассогласования. Данная ситуация свидетельствует о существовании систематической ошибки измерений высоты верхней границы облачности с помощью ДМРЛ-С Валдай.

Заключение

Разработан алгоритм для нахождения статистической связи между рядами МРД, который можно использовать для относительной калибровки метеорологического радиолокатора при построении композитных карт погоды. В этом алгоритме данные одного локатора за определенный период измерений сопоставляются с аналогичными данными другого близлежащего МРЛ.

Для использования разработанного алгоритма создано специальное программное обеспечение «Сопоставление радиолокационных полей». Результатом работы СПО является оценка параметров регрессионной зависимости, которая выражается коэффициентами А и В, и степень зависимости, которая выражается коэффициентом корреляции К.

Для примера было проведено сопоставление архивной радиолокационной информации двух локаторов: ДМРЛ «Метеор-Метеоячейка» Пулково и ДМРЛ-С Валдай.

В ходе проведенной работы было выявлено отличие в калибровочных кривых МРЛ. Также была обнаружена систематическая ошибка в расчетах высоты верхней границы с помощью ДМРЛ-С Валдай. Для более точного анализа сопоставления необходимо увеличить выборку из архивных данных.

Результаты сопоставления можно применить для относительной калибровки устанавливаемого МРЛ по ранее установленному и откалиброванному локатору.

Можно также проверять корректность работы локаторов с помощью мобильного МРЛ, который является эталонным. Мобильный МРЛ можно установить в зоне действия тестируемого радиолокатора на определенный срок и снимать данные о метеорологической радиолокационной информации на двух локаторах синхронно, а затем с помощью предложенного программного обеспечения выявить наличие связей между двумя МРЛ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Базлова Т. А., Бочарников Н. В., Брылев Г. Б. и др. (2002). Метеорологические автоматизированные радиолокационные сети. — СПб.: Гидрометеиздат. 179 с.

Брылев Г. Б., Гашина С. Б., Низдойминова Г. Л. (1986). Радиолокационные характеристики облаков и осадков. — Л.: Гидрометеиздат.

РД 52.04.320-91. (1993). Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5. — СПб.: Гидрометеиздат. 112 с.

Справочник по вероятностным расчетам (1970). — М.: Воениздат. С. 320—328.

СОЗДАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ АРХИВНОЙ СИСТЕМЕ

С. Г. Долгих, В. М. Шаймарданов

Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации
249039 Обнинск, ул. Королева, д. 6
vlad@meteo.ru

Поступила в редакцию 27.05.2014

Одним из направлений деятельности «Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации — Мирового центра данных» (ВНИИГМИ-МЦД) являются научные исследования и работы в области создания методов и технологий ведения и хранения Российского государственного фонда данных о состоянии окружающей природной среды (Госфонд). Свою историю ВНИИГМИ-МЦД начинает с 1964 года, когда согласно постановлению Совета Министров СССР в Обнинске был создан отдел хранения и статической обработки гидрометеорологических данных мирового метеорологического центра. В 1971 году отделение преобразовалось во ВНИИГМИ-МЦД, который стал одним из трех аналогичных центров, организованных одновременно в СССР, США и Австралии. Первоочередной задачей Госфонда была автоматизация сбора, обработки, контроля и хранения гидрометеорологической информации, поступающей с сети станций (Шаймарданов, Пуголовкин, 2002). В связи с началом автоматизации сбора, обработки и накопления данных, получаемых на гидрометеорологической сети станций, в 1970-е и 1980-е годы создавались новые технологии ведения и хранения архивных данных (Шаймарданов, Пуголовкин, 2003). Одной из технологий, предназначенных для непосредственной работы с архивами Госфонда о состоянии природной среды, стала технология АИСОРИ (Веселов, Прибыльская, 1996).

Параллельно для обеспечения долговременного надежного хранения гидрометеорологической информации разрабатывались технические носители. Основным носителем для накопления исторической гидрометеорологической информации в то время были перфокарты. Однако они были неудобны для ввода в ЭВМ при массовой обработке и не могли рассматриваться как надежный долговременный носитель. Для повышения надежности хранения данных во ВНИИГМИ-МЦД были разработаны опытные устройства записи информации на микрофильм и считывания с него в ЭВМ.

С 1972 г. начался процесс перезаписи информации с перфокарт на микрофильм. Для этого были разработаны соответствующие программы для перезаписи информации:

- по морской метеорологии;
- основной метеорологии суши;
- аэрологии;
- метеорологии (ежечасные данные).

Информация по морской метеорологии была переписана в полном объеме и использована для решения ряда научных задач. Процесс перезаписи других видов данных продолжался. Однако должным образом не удалось решить проблему надежного считывания информации с микрофильмов и дальнейшие разработки в этом направлении прекратились. Было принято решение о хранении информации на полудюймовых магнитных лентах.

С середины 80-х годов велись работы по перезаписи накопленного фонда гидрометеорологических данных с перфокарт на магнитные ленты (Шаймарданов, Пуголовкин, 2003). Перфокарты в то время можно было по праву считать устаревшими и не актуальными. К настоящему времени магнитные ленты и оборудование для их чтения и записи устарели, в связи с чем в двухтысячных годах на базе архивной системы Росгидромета была организована автоматизированная архивная система. Система основана на современном оборудовании и программных комплексах, которые позволяют решать основные задачи, поставленные перед институтом — надежное и долговременное хранение фонда гидрометеорологической информации (Николаев, Шаймарданов, 2010).

С целью обеспечения надежного хранения и дальнейшего развития системы обслуживания потребителей гидрометеорологической информацией для автоматизированной архивной системы выбрано и установлено следующее оборудование (Шаймарданов и др., 2006):

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

Основным средством хранения являются две ленточные библиотеки объемом по 4 ПБ каждая, а также дисковый массив объемом 100 ТБ, который используется для оперативной обработки данных и служит средством кэширования в автоматизированной архивной системе. Контроль над системой обеспечивается сервером управления IBM system z9 BC.

Программной частью автоматизированной архивной системы являются комплексы, позволяющие управлять данными, хранящимися в системе. На данный момент управление данными обеспечивается с помощью программного комплекса IBM Tivoli Storage Manager (TSM). TSM реализован в соответствии со схемой клиент-сервер и включает в себя следующие компоненты:

- серверная составляющая IBM Tivoli Storage Manager;
- клиент резервного копирования и архивирования IBM Tivoli Storage Manager Backup-Archive client.

Благодаря такой схеме TSM позволяет хранить данные клиентского узла на удаленном сервере и восстанавливать их в случае потери.

Серверная часть TSM состоит из сервера приложения, реляционной базы данных (БД) и репозитория. Реляционная БД предназначена для решения задачи управления данными и реализует идею удаленного администрирования. Под контролем БД находятся все сведения о политиках управления, аутентификации и безопасности носителей. В частности, при записи данных на картридж информация об учетной записи, ее правах, политике хранения данных и информации о носителе, на который были помещены данные, записывается в БД.

В автоматизированной архивной системе TSM выполняет функции:

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

В совокупности программный комплекс TSM и представленное оборудование позволяют обеспечить надежное и долговременное хранение данных, однако эта система имеет ряд ограничений и недостатков. Так как TSM предназначен для хранения широкого спектра данных и не является узконаправленным комплексом для хранения гидрометеорологической информации, поэтому целый комплекс специфических особенностей фонда гидрометеорологических данных, которые приобретают существенное значение при управлении фондом, не учитывается. По сути автоматизированная архивная система должна реализовывать функции хранения данных и управления данными.

В настоящий момент система не позволяет в полной мере выполнять эти функции поскольку:

- визуальный поиск данных по дереву иерархии занимает значительное время;
- не все важные свойства объектов хранения удается отразить в иерархической модели, что затрудняет идентификацию объектов хранения;
- сложно организовать поиск файлов по их контенту.

Поэтому именно функция управления данными не может быть реализована в полной мере, что ставит значительные ограничения на эффективный доступ к данным, которые хранятся в автоматизированной архивной системе. С этой целью создана технология, которая представлена в виде многоуровневой системы, позволяющей организовать доступ к архивным данным по запросам пользователей.

Одной из компонент технологии является общая модель описания данных, на основе которой можно реализовать систему поиска и управления гидрометеорологических данных в автоматизированной архивной системе, что позволяет в полной мере выполнять функции, возложенные на автоматизированную архивную систему. Данная разработка значительно упрощает управление фондом гидрометеорологических данных, что явно говорит об ее актуальности. При разработке общей модели описания данных были учтены специфические особенности фонда гидрометеорологических данных.

Для данных, поступающих в фонд, ранее был принят единый стандарт их представления. Этот стандарт получил название «Язык описания гидрометеорологических данных» (ЯОД). Основное назначение ЯОД — строгое формализованное описание логической и физической структуры архивных гидрометеорологических данных. Все наборы данных на технических носителях (файлы данных) были структурированы в соответствии с требованиями ЯОД. Такой подход был прогрессивным, и в настоящее время сохраняет все свои положительные стороны для организации хранилища данных. Однако со временем от принятого порядка по ряду причин пришлось отступить. В фонд стали поступать файлы не только в виде структурированных наборов данных, но и файлы графических изображений (карты, атласы, презентации и т. д.), цифровые образы фотоснимков, электронные документы отсканированных справочников данных, режимных изданий и т. д. В фонде также стали храниться новые объекты, такие как описания коллекции или массива данных в виде текстовых файлов, которые ранее хранились в виде бумажных документов. В некоторых случаях в фонд данные поступают в формате таблиц СУБД. Все перечисленные выше объекты хранения не могут быть описаны средствами ЯОД. Это приводит к тому, что все объекты хранения фонда необходимо классифицировать по классу организации файлов данных и определить этот класс как свойство объекта хранения, которое при извлечении объекта из хранилища однозначно определяет, какие средства должны быть применены в дальнейшем по отношению к

полученному из фонда файлу данных. На данный момент можно выявить следующие классы объектов:

- структурированные данные в ЯОД;
- структурированные данные других форматов;
- неструктурированные данные;
- цифровые образы документов;
- текстовые документы.

Основной принцип архивного хранилища — «хранить то, что поступило», т. е. любой файл, принятый в фонд, должен становиться объектом бессрочного хранения. Любая модификация поступившего в фонд файла, а тем более его удаление из фонда, может быть произведена только от имени организации, ответственной за производство наблюдений и обработку данных. Как показывает опыт, в некоторых файлах с течением времени обнаруживаются как структурные дефекты, так и ошибки в данных. За время длительного хранения данных часто возникает проблема их актуализации к требованиям современных ЭВМ и программным системам. Как правило, все виды работ по актуализации и исправлению дефектов и ошибок проводит не автор массива, а подразделение, ответственное за ведение фонда, или подразделения-кураторы данных по дисциплинам. В результате корректировки ошибок, обнаруженных в файлах, поступивших в фонд (исходные файлы фонда принято называть «базовыми»), появляются новые, производные от «базовых», файлы. Эти новые файлы и массивы принято называть «нормализованными». «Базовые» файлы представляют собой уникальные файлы и массивы, поступившие в фонд на бессрочное хранение, имеющие реквизиты создателя, а «нормализованные» — файлы и массивы, полученные после санкционированной модификации «базовых». Таким образом в фонде появляется уже не один, а два объекта хранения почти с одинаковым содержанием. Процесс нормализации может проходить в несколько итераций, поэтому наряду со статусом «базовый» и «нормализованный» по отношению к объекту хранения появляются еще и версии «нормализованных» файлов. Версии «нормализованных» файлов вводятся для того, чтобы всегда была возможность вернуться, как минимум, на шаг назад по отношению к последней

модификации «нормализованных» файлов. В некоторых случаях один файл данных в хранилище может представлять три объекта хранения: первый — «базовый» массив; второй — «нормализованный» массив предыдущей версии модификации; третий — «нормализованный» массив последней версии модификации. Возникает задача их уникальной идентификации.

С появлением новых объектов хранения в фонде, таких как файлы с формализованным и/или неформализованным описанием массивов данных, требуется установление их связи с файлами данных, к которым они относятся. Прежде всего, такая проблема возникает со структурированными данными в формате ЯОД. В соответствии с ЯОД каждому файлу данных ставится в соответствие еще один файл — файл описания, без которого получить знание о структуре файла данных и некоторой другой информации о данных не представляется возможным. Один файл описания ЯОД может относиться сразу к некоторой совокупности файлов данных. Поэтому при организации хранения этих файлов в автоматизированной архивной системе необходимо установить связь между такими файлами, и отразить эту связь в описании объекта хранения, что позволит при поиске данных обнаружить не только файл с данными, но и все другие объекты хранения фонда, связанные с этим файлом. Отмеченные основные специфические особенности фонда гидрометеорологических данных не учтены ни в одной из существующих систем управления фондом.

Специфические особенности фонда гидрометеорологических данных, а также исследование международных стандартов описания данных (ISAD, ISO 19115, ISO 19115-2, ISO 19139 и др.) показало, что в модели описания данных необходимо отобразить критерии описания, которые позволяли бы в полной мере описать не только содержимое объекта хранения, но и свойства самого объекта хранения. В связи с этим было принято решение использовать блочную структуру модели описания, в которой критерии каждого блока определяют его конкретное назначение.

Структура модели разделена на три блока: блок-идентификатор, блок свойств объекта, блок описания контента. Блок-идентификатор позволяет определить объект хранения как уникальную единицу

хранения, блок свойств объекта позволяет определить свойства объекта хранения, а блок описания контента позволяет определить свойства содержимого объекта хранения.

Для решения проблемы уникальной идентификации предложено решение, в котором идентификатор объекта будет формироваться из серии числовых кодов. Серия включает:

- номер файла;
- код массива;
- код коллекции данных;
- код вида наблюдения;
- код дисциплины.

В основе этого идентификатора лежит номер объекта хранения, который должен быть присвоен каждому файлу в массиве при формировании записи описания объекта хранения. Номера файлов являются уникальными только в составе массива, поэтому к номеру файла должен быть добавлен код массива, который назначается из словаря-перечня всех массивов фонда, а также код коллекции данных, код вида наблюдения, код дисциплины, к которой относятся наборы данных. Совокупность этих кодов образует уникальный составной идентификатор, который однозначно идентифицирует каждый объект хранения. Такой идентификатор позволяет осуществлять поиск совокупности файлов, как по дисциплине, виду наблюдения, так и по коллекции данных и массивам. Это свойство является полезным для получения статистик по тем же пунктам.

С учетом всех специфических особенностей гидрометеорологических данных разработана модель описания (см. табл. 1). Данная модель отражает все особенности данных, а также специфику хранения в автоматизированной архивной системе. Кроме того, она позволяет четко идентифицировать каждый объект как уникальную единицу хранения. Как сказано выше, на базе данной модели разработана технология управления гидрометеорологическими данными (Долгих, Шаймарданов, 2013). ..

Модель описаний гидрометеорологических данных

| № поля | Название поля | Описание поля | Тип поля | Валидация |
|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <i>Идентификатор объекта</i> | | | | |
| 1 | Номер записи описания файла | Идентификационный номер записи (сквозной ID). | числовой | Обязателен |
| 2 | Название массива | Название массива, к которому принадлежит файл. | символьный | Обязателен |
| 3 | Оригинальное имя файла | Имя файла в автоматизированной архивной системе. | символьный | Обязателен |
| 4 | Источник (автор) массива | Автор массива (организация, отдел и т. д.). | символьный | Обязателен |
| 5 | Дисциплина | Поля, формирующие уникальный составной индекс, сформированный по словарям-перечням. | числовой | Обязателен |
| 6 | Вид наблюдения | | | |
| 7 | Коллекция | | | |
| 8 | Массив | | | |
| 9 | Файл | | | |
| 10 | Номер связанного файла | Уникальный составной код другого файла, связанного с файлом. | Числовой | Не обязателен |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------------|
| <i>Свойства объекта хранения</i> | | | | |
| 11 | Класс объекта | Класс объекта: <ul style="list-style-type: none"> • Структурированные данные. • Структурированные данные в ЯОД. • Неструктурированные данные. • Образы. • Текстовые документы. | символьный | Обязателен |
| 12 | Тип файла | Расширение файла (.txt, .doc, и т. д.) | символьный | Не обязателен |
| 13 | Статус объекта | Статус объекта: <ul style="list-style-type: none"> • базовый • нормализованный. | символьный | Не обязателен |
| 14 | Версия объекта | Последняя, предпоследняя. | символьный | Обязателен |
| 15 | Кодировка объекта | Кодировки для различных ЭВМ. | символьный | Не обязателен |
| 16 | Конфиденциальность | Открытый, закрытый. <i>Конфидент</i> | символьный | Обязателен |
| 17 | Период наблюдений | Промежуток времени, в который проводились наблюдения. | числовой | Не обязателен |
| 18 | Место наблюдений | Географическая привязка наблюдений к местности. | символьный | Не обязателен |
| 19 | Реферат | Краткое изложение прочей информации характеризующей объект. | символьный | Не обязателен |

Технология представлена в виде многоуровневой системы, позволяющей организовать доступ к данным архивной системы по запросам, поступающим от пользователей. Условно в системе можно выделить «Прикладной уровень» и «Уровень представления» (см. рис. 1).



Рис. 1. Многоуровневая система доступа к данным архивной системы.

Прикладной уровень — совокупность аппаратной и программной частей системы, обеспечивающих хранение объектов как уникальной единицы. Все объекты хранения, помещенные в систему, должны иметь свои метаданные, занесенные в БД, в основе которой лежит предложенная модель описания данных. В состав системы хранения входят средства хранения и кэширования, средства управления данными и ленточными библиотеками, база данных хранения метаданных объектов хранения.

Уровень представления — модульная совокупность графического интерфейса и различных сервисов управления данными. Он

реализован в виде модульного масштабируемого графического WEB-интерфейса.

За каждую функцию отвечает определенный сервис системы. Важными являются сервисы создания описания и загрузки объекта хранения в систему, выборки объектов по критериям и выгрузки объектов, а также сервис учета и сбора статистики данных.

Разработка модели описания объектов хранения для фонда гидрометеорологических данных, обладающих уникальными свойствами, позволила не только принять единую концепцию описания фонда неоднородных данных, но и создать технологию, которая значительно упрощает ведение и учет объектов хранения в автоматизированной архивной системе.

Дальнейшее развитие этой технологии обеспечит постоянный автоматизированный удаленный доступ к фонду гидрометеорологических данных, что значительно упростит ведение фонда гидрометеорологических данных в архивной системе Росгидромета.

Заключение

Создана технология, которая представлена в виде многоуровневой системы, позволяющей организовать доступ к данным архивной системы по запросам пользователей.

Одной из компонент технологии является общая модель описания данных, на основе которой можно реализовать систему поиска и управления гидрометеорологических данных в автоматизированной архивной системе, что позволяет в полной мере выполнять возложенные на нее функции. Данная разработка значительно упрощает управление фондом гидрометеорологических данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Веселов В. М., Прибыльская И. Р. (1996). Общая характеристика и язык запросов системы АИСОРИ // Труды ВНИИГМИ—МЦД. Вып. 160. С. 55—68.

Долгих С. Г., Шаймарданов В. М. (2013). Разработка системы автоматизированного управления фондом гидрометеорологических данных архивной системы Росгидромета. — Материалы научной конференции ITS 2013. Минск. С. 28—29.

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

Шаймарданов М. З., Пуголовкин В. В. (2002). Автоматизированные системы и технологии сбора, обработки и накопления данных гидрометеорологических наблюдений. — СПб: Гидрометеоздат. 225 с.

Шаймарданов М. З., Пуголовкин В. В. (2003). Государственный фонд данных по гидрометеорологии и загрязнению природной среды. — СПб: Гидрометеоздат. 117 с.

Шаймарданов М. З., Веселов В. М., Стерин А. М., Шаймарданов В. М. (2007). Концепция модернизации архивной системы мирового метеорологического центра // Труды ВНИИГМИ. Вып. 172. С. 3—7.

ОСОБЕННОСТИ ВОЗМУЩЕНИЙ МИКРОВАРИАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ВО ВРЕМЯ ТЕКЕЛИЙСКОГО И КАПЧАГАЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Я. В. Дробжева¹, В. М. Краснов², Н. М. Салихов³, В. И. Дробжев⁴

¹ Российский государственный гидрометеорологический университет
195196 Санкт-Петербург, пр. Малоохтинский, д. 98

e-mail: ydrobzheva@mail.ru

² ВКА им. А. Ф. Можайского

197082 Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13

e-mail: vmkrasnov@yandex.ru

³ Институт ионосферы АО «НЦКИТ»

480005 Алматы, Каменское плато, Казахстан

e-mail: N1@nursat.net

⁴ Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова

194021 Санкт-Петербург, ул. Карбышева, д. 7

e-mail: viktor-drobzhev@rambler.ru

Поступила в редакцию 15.10.2014

Введение

Проблема поиска кратковременных и оперативных предвестников землетрясений по-прежнему остается актуальной. Проводятся экспериментальные исследования поведения геофизических полей и поиск их связи с процессами подготовки землетрясений. В частности, в работах Салихова и др. (2012), Дробжевой и др. (2012) представлены результаты регистрации возмущений микровариаций давления и приземного электрического поля перед и во время сильных землетрясений, произошедших в Казахстане: Текелийском (13 июня 2009 г., координаты $44,945^\circ$ с. ш., $78,582^\circ$ в. д., магнитуда $m_b = 6,10$, энергетический класс $K = 13,97$) и Капчагайском (1 мая 2011 г., координаты $43,7149^\circ$ с. ш., $77,658^\circ$ в. д., магнитуда $m_b = 5,76$, $K = 13,30$). Измерения микровариаций давления проводились близ Алматы на радиополигоне «Орбита» на расстоянии $d = 246$ км от эпицентра Текелийского землетрясения, и синхронные измерения

микровариаций давления и электрического поля проводились на радиополигоне «Орбита» на расстоянии $d = 92$ км от эпицентра Капчагайского землетрясения. Как известно, например Rishbeth (2006), одним из критериев возможной связи выделенных аномалий геофизического поля с процессами подготовки сильных землетрясений должно быть их отсутствие в спокойные периоды. Частично такая проверка была проведена для выделенных возмущений во время Текелийского и Капчагайского землетрясений (Салихов и др., 2012; Дробжева и др., 2012). Впоследствии была разработана специальная методика, и создана программа для автоматизированного выделения возмущений как в спокойные дни, так и во время землетрясений.

Целью настоящей работы является дальнейший набор статистического материала и его анализ для установления возможной связи выделенных возмущений электрического поля и микровариаций давления с Текелийским и Капчагайским землетрясениями.

1. Метод анализа экспериментальных данных

Существует гипотеза, например Курскеев (2004), что главной причиной сильных землетрясений и возникающих перед ними аномалий геофизических полей являются глубинные процессы внутри Земли. Тогда как слабые землетрясения в основном обусловлены разрядкой напряжений земной коры, в том числе и под воздействием внешних сил. Из этого следует, что аномалии, возникающие перед сильными землетрясениями, могут не появляться перед слабыми. Безусловная вероятность появления этих аномалий должна быть не больше безусловной вероятности сильных землетрясений в рассматриваемом регионе. Например, по данным Центра данных НЯЦ РК в районе Капчагайского водохранилища за последние 50 лет с 1960 по 2011 г. произошло пять сильных землетрясений: одно сильное землетрясение происходило в районе Капчагая (в области широт $43,65—44,00^\circ$ и долгот $77,5—78,25^\circ$) приблизительно один раз в 10 лет. Землетрясение в этом регионе следует ожидать с безусловной вероятностью 0,1 в год, или с вероятностью 0,00027 в день. Это

означает, что появление аномалии в записях электрического поля и микровариаций давления, связанных с подготовкой сильного землетрясения, также должно быть редким событием. Поэтому способ выделения аномалий должен ориентироваться на выделение редких по времени «сигналов» на уровне шумов. Это обстоятельство требует критического отношения к алгоритму обнаружения «сигнала» — аномалии. В данной работе выделение «сигналов» проводится, во-первых, методом оптимальной фильтрации на основе сопоставления «портретов» опорных сигналов с «портретами» текущих возмущений на записях, и, во-вторых, с помощью установления порогов по величине «сходства портретов». Из-за малой вероятности сильного землетрясения установление величины порога обнаружения сигнала возможно только на основе статистически значимого экспериментального материала. Для этого необходимо проводить регулярные наблюдения, совершенствовать алгоритмы выделения «сигнала» из шума для повышения вероятности правильного обнаружения и сведения к минимуму вероятности ложных тревог.

Для реализации метода оптимальной фильтрации проводится текущий расчет взаимной корреляционной функции между опорным сигналом («портретом» возмущения) и текущей записью исследуемого сигнала $f(t)$. Пусть длительность равна T . Для расчета взаимной корреляционной функции предварительно из записи $f(t)$, начиная с ее начала, выделяется отрезок записи, равный по длительности T — $f_i(t)$, и из обоих отрезков записи вычитается среднее значение, а также определяется среднеквадратичное значение функции σ_1 и среднеквадратичное значение выделенного отрезка записи $f_i(t)$, — σ_2 . Затем для выделенных отрезков рассчитывают текущий коэффициент корреляции k_i .

После чего из записи $f(t)$, выделяют следующий отрезок записи — $f_i(t)$, сдвинутый относительно предыдущего отрезка на интервал опроса сигнала — dt , и опять рассчитывают коэффициент корреляции. Очевидно, что если форма выделенного отрезка $f_i(t)$ полностью совпадет с формой опорного сигнала, то коэффициент корреляции будет равен единице. При различающихся формах коэффициент

корреляции будет меньше единицы, и в принципе, может стремиться к нулю. Устанавливая величину порога коэффициента корреляции можно автоматически с помощью программы обнаруживать и выделять возмущения сигнала на записи $f(t)$, K , которые с разной степенью точности будут похожи на задаваемые портреты.

Так как перед Текелийским землетрясением проводились измерения только микровариаций давления, то и возмущение выделено только для одного вида геофизических наблюдений. Исследования показали (Дробжева и др., 2012) что наилучшим образом возмущение в записях наблюдается, если полосовым фильтром выделить из спектра колебаний инфразвука область частот от 0,004 до 0,067 Гц. На рис. 1 показаны колебания инфразвука в выделенном частотном диапазоне за 8—16 июня 2009 г. (по техническим причинам проводились измерения только в эти дни) и отдельно показан аномальный участок записи за 13 июня. Примерно за 10 ч до момента землетрясения вместо роста началось падение амплитуды спектральных составляющих. При этом падение амплитуды происходило вплоть до момента землетрясения и образовало минимум, который оказался значительно меньше по величине, чем минимумы, наблюдавшиеся в спокойные дни (в предшествующие и последующие дни июня). Восстановление амплитуды произошло в последующие ~20 ч после землетрясения. Через ~10 мин после землетрясения на записи появился четко выраженный выброс амплитуды.

Время возникновения выброса соответствует времени распространения инфразвука при отражении от атмосферы одним скачком от очага землетрясения до радиополигона «Орбита». Поэтому можно предполагать, что этот выброс образовался в результате генерации инфразвука под действием движения земной поверхности в районе эпицентра.

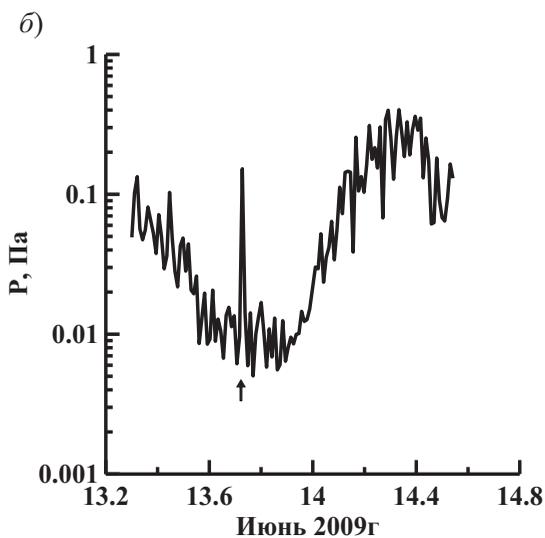
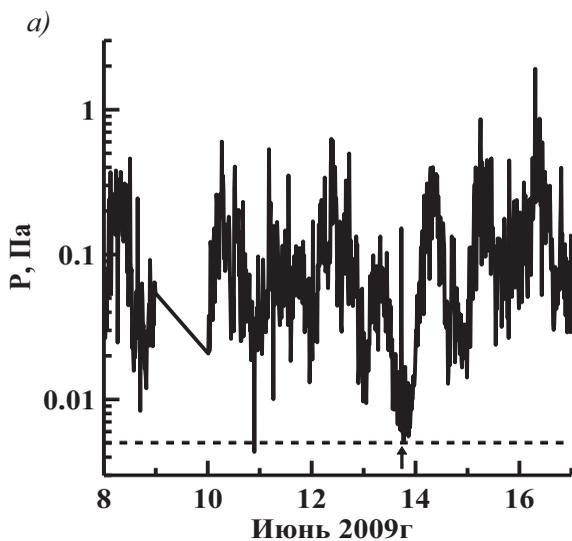


Рис. 1. Амплитуда спектральных составляющих инфразвука в полосе 0,004—0,0067 Гц за 8—16 июня 2009 г. (а); фрагмент записи за 13 июня 2009 г. с выделенной аномалией (б). Стрелки показывают момент землетрясения. Здесь и далее на рисунках пропуски в данных обусловлены техническими причинами.

Таким образом, перед и во время Текелийского землетрясения наблюдалось возмущение в записях микровариаций давления, обладающее тремя признаками:

характерной формой,

большой «глубиной» минимума по сравнению с минимумами в спокойные дни,

наличием выброса, обусловленного приходом инфразвуковой волны, сгенерированной движением земной поверхности во время землетрясения.

Для поиска возмущений методом оптимальной фильтрации в качестве опорного сигнала был выбран сигнал, записанный во время Текелийского землетрясения (рис. 1б). Пример выделения данного возмущения в записях за июнь 2009 г. (рис. 1а) показан на рис. 2, в соответствии с которым коэффициент корреляции для возмущения, наблюдаемого 13 июня, равен единице.

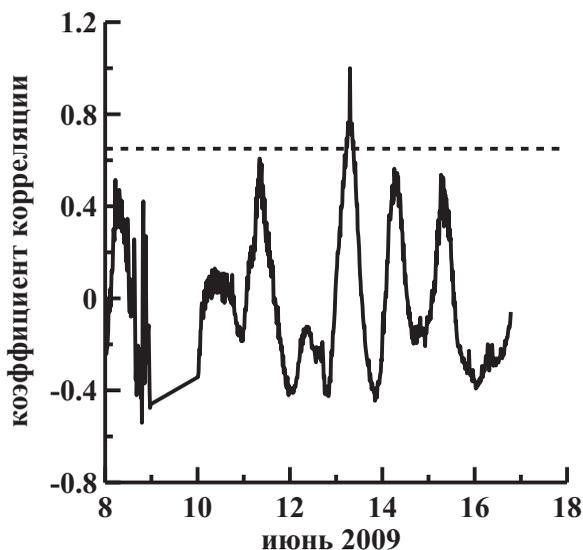


Рис. 2. Пример выделения возмущения в записях микровариаций давления методом оптимальной фильтрации для ряда на рис. 1а.

Для других дней коэффициент корреляции оказался меньше 0,6, т. е. при выборе порога больше 0,6 вероятность ложных тревог для данного участка записи равна нулю.

Перед Капчагайским землетрясением на радиополигоне «Орбита» были зарегистрированы три вида возмущений в записях электрического поля (Салихов и др., 2012), которые были определены в качестве опорных сигналов. На рис. 3 показан первый тип опорного сигнала, который имеет не только характерную форму, но и разную длительность. Поиск возмущений электрического поля методом оптимальной фильтрации проводился для импульсов разной длительности (рис. 3). Важно отметить, что данная серия импульсов наблюдалась непосредственно перед, во время и после землетрясения.

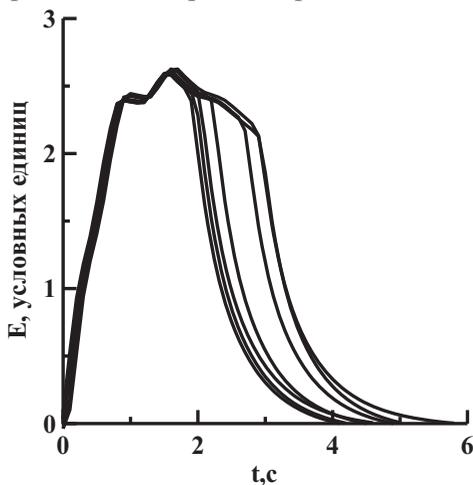


Рис. 3. Опорные «портреты» возмущений, отобранные для поиска возмущений электрического поля первого вида.

Опорное возмущение электрического поля второго типа и сопутствующее ему характерное изменение амплитуды микровариаций давления, которое также было использовано в качестве опорного сигнала в дальнейших расчетах, представлено на рис. 4.

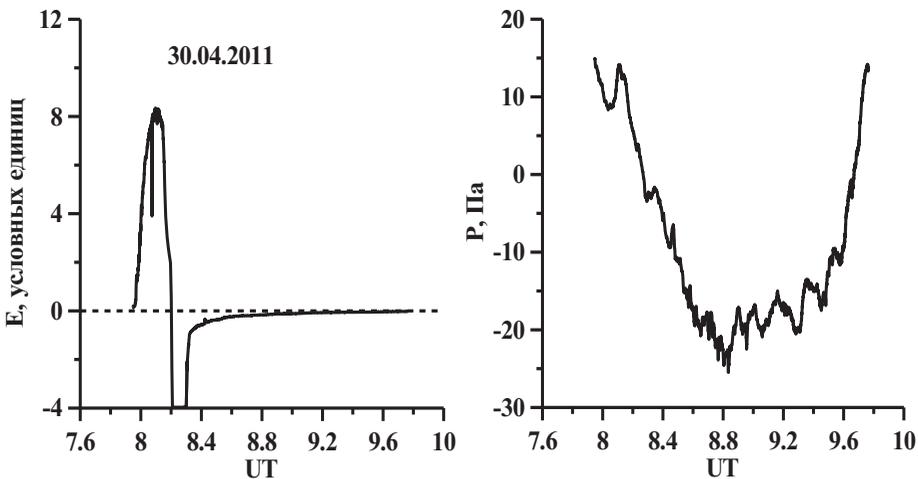


Рис. 4. Вид опорного возмущения электрического поля второго типа, зарегистрированного перед Капчагайским землетрясением, и синхронная запись возмущения микровариаций давления.

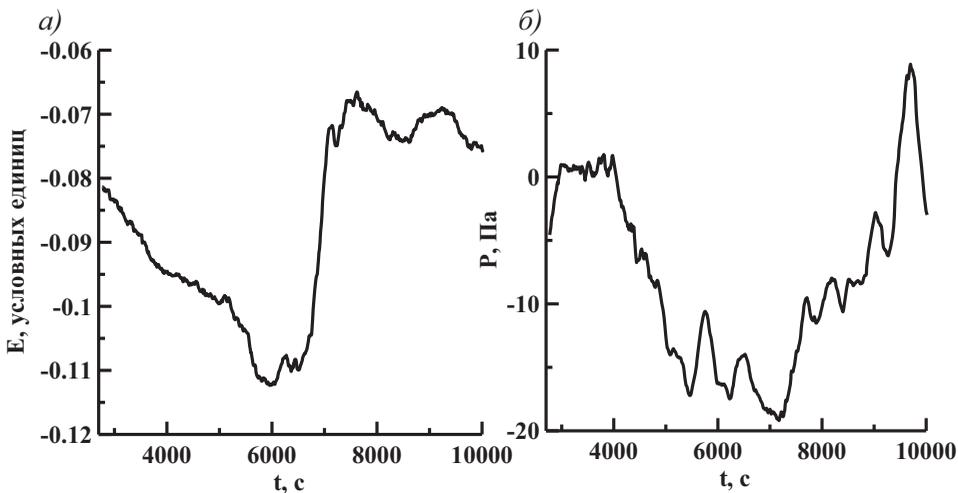


Рис. 5. Вид опорного возмущения электрического поля третьего типа, зарегистрированного перед Капчагайским землетрясением, и синхронная запись возмущения микровариаций давления.

Опорное возмущение электрического поля третьего типа и сопутствующее ему характерное изменение амплитуды микровариаций давления, которое также было использовано в качестве опорного сигнала в дальнейших расчетах, показано на рис. 5.

2. Результаты эксперимента

Для поиска возмущений, подобных зарегистрированным во время Текелийского землетрясения (13 июня 2009 г.), была проведена обработка результатов измерений микровариации давления на пункте «Орбита» с апреля 2011 г. (начало регулярных измерений) по сентябрь 2014 г. При поиске возмущений пороговое значение коэффициента корреляции выбрано на уровне 0,7. В результате за анализируемый период коэффициент корреляции превысил заданный порог только в трех случаях. Поведение колебаний амплитуды спектральных составляющих микровариаций давления в полосе 0,004—0,0067 Гц во времени для этих случаев показаны на рис. 6.

Несмотря на то, что форма выделенных возмущений подобна форме возмущения, зарегистрированной перед и во время Текелийского землетрясения, минимум возмущения не «опускается» ниже минимумов колебаний за другие дни ноября и тем самым отличается от возмущения, зарегистрированного во время данного землетрясения (отсутствие второго признака). Явно выраженный инфразвуковой отклик, который наблюдался во время землетрясения (отсутствие третьего признака), также отсутствует. Учитывая сказанное, представленные на рис. 6 возмущения нельзя причислить по виду к возмущению, обнаруженному при Текелийском землетрясении.

Для поиска возмущений, подобных зарегистрированным при Капчагайском землетрясении (1 мая 2011 г.), проведена обработка результатов непрерывных синхронных измерений микровариации давления и электрического поля на пункте «Орбита» с января 2013 г. по сентябрь 2014 г. Исходя из предварительных результатов обработки записей, величина порогового значения коэффициента корреляции для обнаружения сигнала выбрана равной 0,9.

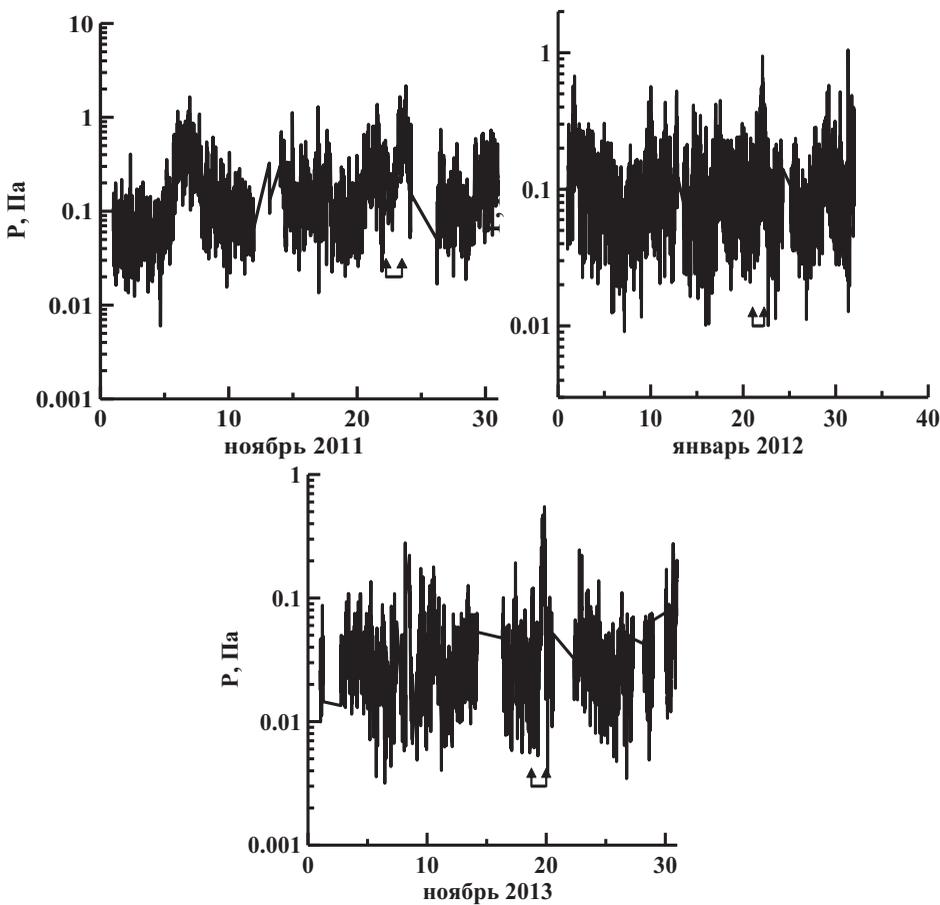


Рис. 6. Колебания амплитуды спектральных составляющих микровариаций давления в полосе 0,004—0,0067 Гц для случаев, когда коэффициент корреляции превысил пороговое значение 0,7. Стрелки указывают на выделенные программой обработки возмущения.

Анализ имеющихся записей за рассматриваемый период выявил только три случая возмущения электрического поля, близкого по

форме опорному сигналу первого типа (рис. 3) с коэффициентом корреляции больше 0,9. Сопоставление опорных сигналов первого типа и обнаруженных возмущений приводится на рис. 7.

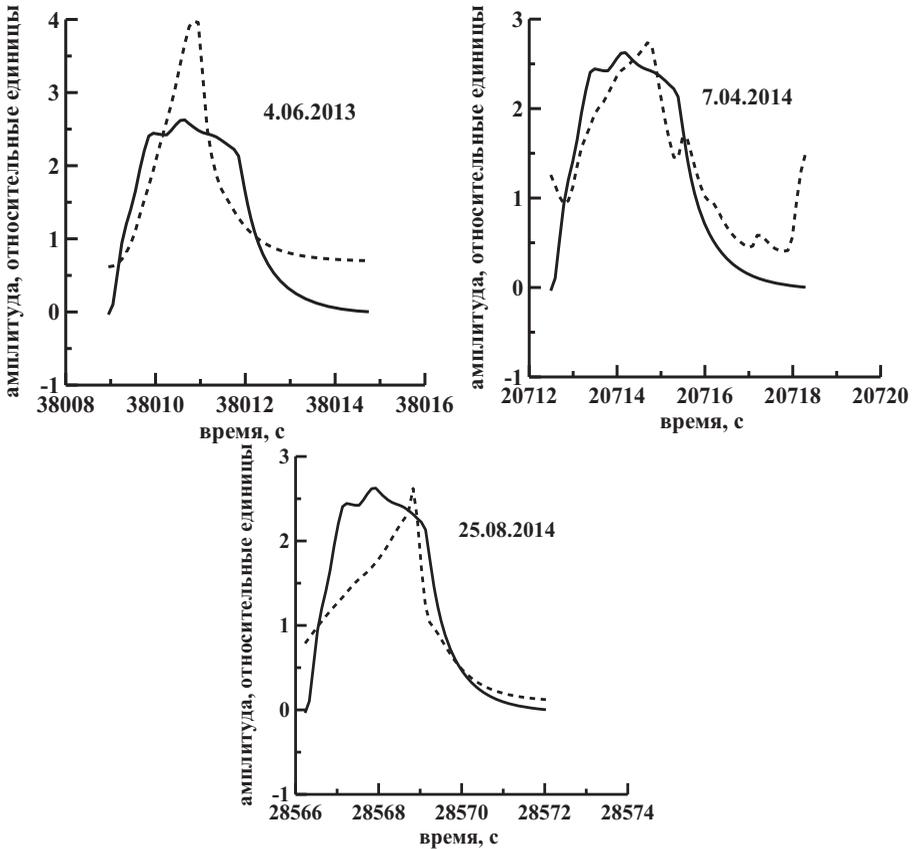


Рис. 7. Сопоставление формы опорных сигналов первого типа (сплошная линия) и форм обнаруженных возмущений на записях электрического поля (штриховая линия).

Из рисунка видно, что форма всех трех выделенных возмущений существенно отличаются от формы опорных сигналов. Кроме того, перед Капчагайским землетрясением наблюдалась серия импульсов, а

в данном случае наблюдался только один импульс. Поэтому данные возмущения не следует относить к виду возмущений первого типа, наблюдаемых при Капчагайском землетрясении. Для уменьшения вероятности ложной тревоги при автоматизированной обработке можно увеличить пороговый уровень коэффициента корреляции.

Всего за рассматриваемый период обнаружено 14 возмущений электрического поля, близких по форме опорному сигналу второго типа с коэффициентом корреляции больше 0,9, при этом коэффициент корреляции по синхронным записям микровариаций давления изменялся в пределах от $-0,144$ до $0,778$. Для примера на рис. 8 показано возмущение электрического поля и синхронные изменения вариаций давления для 23 июля 2014 г., когда коэффициенты корреляции были наибольшими: для записей электрического поля $k = 0,904$, а для записей микровариаций давления $k = 0,778$.

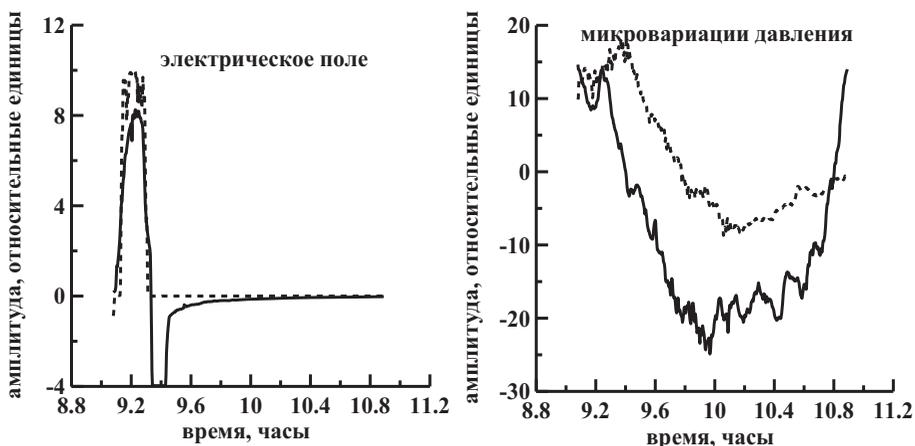


Рис. 8. Сопоставление форм электрического поля и синхронных микровариаций давления опорных сигналов второго типа (сплошная линия) и форм обнаруженных возмущений на записях электрического поля и микровариаций давления (штриховая линия) 23 июля 2014 г.

Из рис. 8 следует, что обнаруженный импульс электрического поля является однополярным, в то время как опорный сигнал является двухполярным. Также существенно отличаются опорный и

анализируемые записи микровариаций давления. Поэтому данные анализируемые возмущения (в спокойные дни) следует относить к виду возмущений второго типа, наблюдаемого при Капчагайском землетрясении.

Всего за рассматриваемый период обнаружено 24 возмущения электрического поля, близких по форме опорному сигналу третьего типа с коэффициентом корреляции больше 0,9, при этом коэффициент корреляции по синхронным записям микровариаций давления изменялся в пределах от $-0,5$ до $0,518$. На рис. 9 для примера показано возмущение электрического поля и синхронные изменения вариаций давления для 15 июня 2014 г., когда коэффициенты корреляции были наибольшими: для записей электрического поля $k = 0,93$, а для записей микровариаций давления $k = 0,518$.

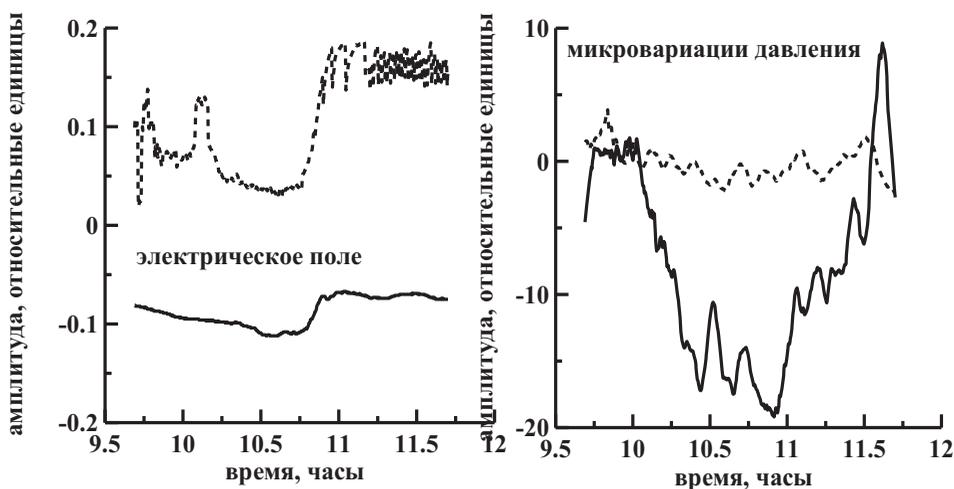


Рис.9. Сопоставление форм электрического поля и синхронных микровариаций давления опорных сигналов третьего типа (сплошная линия) и форм обнаруженных возмущений на записях электрического поля и микровариаций давления (штриховая линия) 15 июня 2014 г.

Видно, что обнаруженный импульс электрического поля близок по виду к аномалии третьего типа, однако различия в синхронных

записях амплитуды существенны. Поэтому данные возмущения не следует относить к виду опорного сигнала третьего типа, наблюдаемого при Капчагайском землетрясении.

Заключение

Проведенный анализ данных показал, что возмущения микровариаций давления и приземного электрического поля, зарегистрированные при Текелийском и Капчагайском землетрясениях, имеют уникальный характер:

- за анализируемый период в спокойные дни возмущения подобного вида не наблюдались;
- не были зарегистрированы подобные возмущения и во время 8-ми землетрясений с магнитудой от 5 до 6,6, произошедших на расстоянии от 120 до 320 км от пункта измерений — вне зоны очагов Текелийского и Капчагайского землетрясений.

Таким образом, полученные результаты соответствуют гипотезе о том, что каждый очаг имеет свои особенности процессов подготовки землетрясения.

Окончательный вывод о связи обнаруженных возмущений с землетрясениями можно будет сделать только на основе исследований при повторении сильных землетрясений в очагах Текелийского и Капчагайского землетрясений.

Работа выполнена в рамках Договора с Научным центром космических исследований и технологий Республики Казахстан, контракт № 14 от 13 февраля 2014 года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Дробжеева Я. В., Краснов В. М., Салихов Н. М., Дробжеев В. И., Жумабаев Б. Т. (2012). Особенности вариаций инфразвуковых сигналов, зарегистрированных в ближней зоне от Текелийского и Капчагайского землетрясений // Труды ГГО. Вып. 567. С. 171—187.

Курскеев А. К. (2004). Землетрясения и сейсмическая безопасность Казахстана. — Алматы: Эверо. 500 с.

Салихов Н. М., Дробжева Я. В., Краснов В. М., Дробжев В. И., Жумабаев Б. Т. (2012). Аномалии в записях электрического поля для случая сильного землетрясения, произошедшего в Алматинском сейсмическом регионе // Труды ГГО. Вып. 566. С. 139—154.

Rishbeth H. (2006). Ionoquake precursors in the ionosphere // EOS. Vol. 87. № 32. P. 8.

УДК [551.46.062+551.5] (985)

**НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ В СФЕРЕ
ГЕОПОЛИТИЧЕСКИХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИНТЕРЕСОВ РОССИИ
В АРКТИКЕ**

Н. М. Бызова

Северный (Арктический) федеральный университет
имени М. В. Ломоносова
163002 Архангельск, наб. Сев. Двины, д. 17
E-mail: bnmgeo@yandex.ru

Поступила в редакцию 16.09.2014
Поступила после доработки 30.09.2014

Важнейшая стратегическая цель Северного (Арктического) федерального университета имени М. В. Ломоносова (САФУ имени М. В. Ломоносова) — обеспечение инновационной, научной и кадровой поддержки геополитических и экономических интересов России в Арктике. Университет является центром подготовки новой генерации перспективных, высококвалифицированных, целеустремленных, востребованных на международном уровне кадров. Арктике нужны специалисты, которые владеют знаниями, умениями и навыками для решения приоритетных и разноплановых задач Арктического региона.

САФУ имени М. В. Ломоносова активно внедряет новые методики подготовки молодых специалистов для удовлетворения потребностей современного рынка труда. Одним из перспективных направлений обучения являются совместные научно-исследовательские экспедиции преподавателей, ученых и студентов по Северному морскому пути, на Землю Франца-Иосифа, Новую Землю, Вайгач, Аляску. В 2012 году при поддержке Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) и Русского географического общества в университете стартовал новый инновационный проект «Арктический плавучий университет», в котором органично сочетаются образовательные курсы и научно-исследовательская работа студентов, бакалавров, магистрантов и аспирантов.

Идея создания программы «Обучение и процесс исследования» — «Плавучий университет» (1990 г.) принадлежит ученым Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова (МГУ имени М. В. Ломоносова) и имеет огромный, в том числе и международный, успех. Возможность создания научно-учебных лабораторий на борту плавучего судна впервые была озвучена заведующим кафедрой геологии и геохимии горючих ископаемых геологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова М. К. Ивановым. В 1988 году на совещании ЮНЕСКО по перспективам образования в области морских наук он внес предложение об организации «плавучего университета». Для реализации этого предложения впоследствии были определены задачи проекта и подготовлена программа, получившая название «Обучение через исследования» (Training — through Research, TTR).

В 1991 году состоялась первая международная студенческая практика на российском судне «Геленджик», на борту которого студенты и преподаватели из разных стран занимались исследованием Средиземного и Черного морей. На рубеже 90-х годов XX века МГУ им. М. В. Ломоносова, Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ) и Каспийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства создали еще ряд научно-учебных лабораторий на борту судов для обучения и прохождения практики студентов. В 2012 году эта идея трансформировалась в инновационный проект САФУ имени М. В. Ломоносова «Арктический плавучий университет» на базе научно-исследовательского судна (НИС) «Профессор Молчанов», располагающего лабораторной базой для проведения учебных занятий и научных исследований при подготовке специалистов в реальных условиях Арктики.

Уникальные научно-образовательные возможности проекта «Арктический плавучий университет» нашли свое воплощение при разработке образовательной программы, в которой органично сочетаются образовательные курсы и научно-исследовательская работа студентов на НИС «Профессор Молчанов».

Цель проекта «Арктический плавучий университет» — интеграция инновационных образовательных программ высшего профессионального образования и фундаментальных, и прикладных междисциплинарных научных исследований при проведении

арктических экспедиций на НИС «Профессор Молчанов» для подготовки высококвалифицированных специалистов.

Образовательная программа экспедиций имеет междисциплинарный характер. Студенты слушают теоретический курс лекций по основам океанологии, метеорологии, географии, геоэкологии, физики, химии и биологии с целью усвоения комплекса понятий об основных законах пространственно-временной организации морских и наземных арктических и субарктических природных комплексов локального и регионального уровней. Они знакомятся с методикой океанологических, метеорологических, географических, биологических, геоэкологических, физических и химических исследований и обработки полученных данных. Помимо приобретения теоретических знаний будущие специалисты приобретают практические навыки научных исследований, которые включают сбор, обработку и анализ проб воды, воздуха, горных пород, почв и растений, визуальные наблюдения природных объектов и процессов, их фотографирование и киносъемку.

Первая экспедиция проекта «Арктический плавучий университет» состоялась в июне—июле 2012 года в акватории Белого и Баренцева морей Северного Ледовитого океана. В состав экспедиции вошли студенты, магистранты и аспиранты Института естественных наук и биомедицины и Института теоретической и прикладной химии САФУ имени М. В. Ломоносова. Учебно-методической подготовкой молодых исследователей занимались руководители из числа участников экспедиции, среди которых были преподаватели САФУ имени М. В. Ломоносова, научные сотрудники РГГМУ, Арктического и Антарктического научно-исследовательского института (АНИИ), Государственного океанографического института имени Н. Н. Зубова (ГОИН), Института экологических проблем Севера Уральского отделения Российской академии наук (ИЭПС УО РАН), работники Северного управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Северное УГМС). В экспедиции они познакомили студентов с целями, задачами, маршрутом экспедиции, научно-исследовательским оборудованием, методами полевых исследований, обработки полученных данных, сопоставления собственных наблюдений с материалами учебной и научной литературы, составления отчетов, промежуточной презентацией результатов. Организационная подготовка заключалась в распределении

обязанностей, ознакомлении с правилами и нормами поведения, инструкцией по технике безопасности в экспедиции. Всем участникам экспедиции был выдан комплект одежды для работы в Арктике.

Участники экспедиции за 40 дней в июне—июле 2012 года прошли 8235 км по Белому и Баренцеву морям, пересекли 80-ю широту в северном направлении, познакомились с природными условиями островов Гукера и Нортбрука архипелага Земля Франца-Иосифа, островов Северный, Оранские, Гольфстрим, Богатый, Баренца архипелага Новая Земля, острова Колгуев, отработали 130 станций на 14 гидрологических разрезах, где отобрали и проанализировали 8300 проб воды (Бызова, 2012).

Молодые исследователи совместно с научными руководителями провели гидрологические и гидрохимические исследования, в ходе которых определялось вертикальное распределение температуры и солености морской воды, биогенных элементов и других параметров воды. Изучено современное состояние гидрохимической структуры Баренцева и Белого морей и воздействие на него процессов, связанных с глобальными изменениями климата.

На основе полученных данных построена схема циркуляции теплых атлантических вод в Баренцевом море, отражающая наличие преимущественно циклонального круговорота атлантической водной массы вдоль побережья Кольского полуострова и Новой Земли. Установлено, что меньший по объему поток баренцевоморской ветви атлантической водной массы достигает центрального и северо-западного районов Баренцева моря. С севера и северо-востока в Баренцево море поступают теплые воды фрамовской ветви атлантической водной массы, залегающие в придонных слоях. Показано наличие струйного течения атлантической водной массы в Баренцевом море. Вдоль Новой Земли атлантическая водная масса распространяется двумя основными потоками, один из которых, проходящий ближе к архипелагу, движется в поверхностном слое, в то время как второй, расположенный западнее, залегают под холодными арктическими водами. Согласно полученным данным баренцевоморская ветвь атлантической водной массы теряет более 80 % своего тепла на акватории Баренцева моря. Группой радиологических исследований установлено, что по маршруту экспедиции в западном секторе Российской Арктики наблюдается относительно спокойная радиационная обстановка, однако в

некоторых образцах растительности выявлена повышенная радиоактивность, причины которой требуют дальнейшего изучения.

В Баренцевом море наибольшей продуктивностью и биоразнообразием отличаются прибрежные биоценозы. Развитие жизни здесь определяется влиянием выноса биогенных элементов и органического вещества тальными водами, интенсивным перемешиванием вод приливно-отливными и штормовыми течениями, что обуславливает активное протекание обменных процессов на пограничных поверхностях. Отбор проб диатомовых водорослей, водорослей-макрофитов, ракообразных позволил установить, что альгофлора представляет собой разнообразную, динамично развивающуюся в прибрежных зонах систему. В заливах, а также у побережья островов архипелагов Новая Земля и Земля Франца-Иосифа впервые были описаны районы произрастания ламинариевых фукусовых водорослей, определены доминирующие виды в зависимости от типа грунта, литорали и других факторов. Проведено описание образцов почв, мхов, лишайников, взятых на побережье залива Русская Гавань, островах Гольфстрим, Большие Оранские, мыса Желания архипелага Новая Земля, островах Гукера, Скотт Келти архипелага Земля Франца-Иосифа, на острове Колгуев, полуострове Канин и Соловецких островах.

Результаты измерений микросейсмического фона на архипелагах Земля Франца-Иосифа, Новая Земля и континентальном побережье Баренцева моря позволили установить, что рассматриваемый регион в сейсмическом плане неактивен и типичен для островных и прибрежных территорий с полным отсутствием техногенной составляющей. Полученные сейсмические данные дополнили информационную базу Архангельской сейсмологической сети.

Изучение геоморфологических особенностей береговых зон Белого и Баренцева морей весьма актуально в условиях меняющегося климата. На их состояние оказывают влияние особенности геологического строения территории, криолитологическое состояние пород, гидродинамические процессы. На арктических побережьях по маршруту экспедиции преобладают крутые абразионные берега. Под воздействием волн, гравитационных процессов и снега происходит их постоянное разрушение. Большая часть обломочного материала скапливается у береговой линии, создавая различные аккумулятивные формы: береговые валы, надводные и подводные

аккумулятивные террасы. Под воздействием волн слагающие их породы находятся в постоянном движении, что отражается в динамике береговой линии. Повсеместно представлены процессы термоэрозии и термоабразии с последующим разрушением, размывом, полным или частичным выносом материала. Наиболее активно в условиях изменяющегося климата разрушаются ледяные берега арктических островов. Необходимы комплексные исследования всей совокупности природных и антропогенных процессов, происходящих на стыке суши и океана.

Актуальность исследования морских берегов возрастает в связи с развитием прибрежной навигации и рыболовства, заготовкой водорослей, поиском и добычей полезных ископаемых, развитием туризма. Участниками экспедиции были проведены прикладные исследования, посвященные изучению туристического потенциала арктических побережий. Хотя развитие туристической отрасли в Арктике находится на начальной стадии, но интерес к уникальным природным и культурно-историческим объектам растет год от года, особенно после создания национального парка «Русская Арктика». За время экспедиции были проведены исследования на западном побережье Северного острова архипелага Новая Земля от полуострова Литке до мыса Желания, на островах Гукера и Нортбрука архипелага Земля Франца-Иосифа, на основе которых составлены туристические экологические маршруты.

В 2013 году существенно расширилась география маршрутов и состав участников проекта «Арктический плавучий университет». Было проведено три экспедиции на НИС «Профессор Молчанов». В 2013 году наряду с представителями Института естественных наук и биомедицины и Института теоретической и прикладной химии, участвовавших в экспедиции 2012 года, приняли участие молодые исследователи из Института нефти и газа, Института судостроения и морской арктической техники и Института педагогики и психологии САФУ имени М. В. Ломоносова. В экспедиции участвовали студенты географического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова, РГГМУ, ГОИН, факультета географии и геоэкологии Санкт-Петербургского государственного университета.

Подготовкой и обучением молодых исследователей занимались, как и в 2012 году, преподаватели САФУ имени М. В. Ломоносова, научные сотрудники ИЭПС УО РАН, АНИИ, ГОИН, работники

Северного УГМС. Для расширения спектра научных направлений в 2013 году были приглашены научные сотрудники Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Зоологического института Российской академии наук, сотрудники Мурманского УГМС.

Первый рейс 2013 года имел международный статус. Члены экспедиции во время посещения Шпицбергена стали участниками российско-норвежской встречи, посвященной развитию Российского научного центра в Баренцбурге. Экспедиционный отряд посетил Университетский центр Шпицбергена (ЮНИС), морскую лабораторию компании «Кингс Бей АСА» и Станцию «Свердруп» Норвежского полярного института в поселке Нью-Олесунн. Ответный прием делегации ЮНИС был организован на НИС «Профессор Молчанов». Представителем Норвежского полярного института было сделано предложение о сотрудничестве в проекте «Арктический плавучий университет».

В течение первого рейса 2013 года наряду с продолжением научных исследований в Белом и Баренцевом морях были проведены комплексные работы в Гренландском море и на Шпицбергене. Участники экспедиции исследовали 10 вековых и стандартных океанографических разрезов в Белом, Баренцевом и Гренландском морях, где на 86 станциях было взято более двух тысяч проб для электрохимических, рентгено-флуоресцентных и хроматографических исследований морской воды. Проведено более 5,5 тысяч измерений в воде биогенных элементов, растворенного кислорода, рН- и ионного состава, что позволило продолжить изучение современного состояния гидрохимической структуры и уровня загрязненности среды арктических морей и воздействия на них процессов, связанных с глобальными климатическими изменениями (Боголицын, Поликин, Бызова, 2013).

На Шпицбергене были продолжены сейсмологические исследования с проведением замеров уровня микросейсмического фона на территории поселков Баренцбург, Нью-Олесунн и города Лонгйир. В рамках гляциологических исследований были выполнены работы по геокриологическому и геоморфологическому описанию рельефа данных территорий. С целью получения информации о горизонтальных и вертикальных неоднородностях рельефа и типах залегания отложений сделаны георадиолокационные исследования

подповерхностного залегания пород до глубины 35 метров с построением 72 георадарных профилей.

Для получения новых данных по видовому разнообразию, запасам биомассы, численности различных групп организмов-продуцентов в пределах морской акватории, в береговой зоне и на ключевых участках арктических островов выполнено геоботаническое описание растительных сообществ, произведен отбор проб бурых водорослей, мхов и лишайников. На морских террасах и геологических разрезах найдены артефакты живых организмов.

В течение второго рейса в июле 2013 года участниками экспедиции «Арктический плавучий университет» пройдено 5900 км по акваториям Белого, Баренцева и Карского морей. На пути к острову Рудольфа, самой северной островной точке Евразии, участники экспедиции впервые достигли точки с координатами $81^{\circ}15'$ с. ш. и $64^{\circ}40'$ в. д. Дальнейший путь на север был прегражден скоплениями обломков айсбергов. При следовании к острову Визе экспедиция достигла в Карском море крайней северо-восточной точки маршрута с координатами $79^{\circ}34'$ с. ш. и $76^{\circ}55'$ в. д. Такой широкомасштабный охват комплексными исследованиями арктических территорий выполнен впервые (Боголицын, Поликин, Бызова, 2013).

Основные научно-исследовательские задачи второго рейса были направлены на получение комплексной океанологической информации о состоянии природных систем Белого, Баренцева и Карского морей и влиянии их на формирование климатических изменений в северных полярных районах. Выполнены измерения на 80 станциях 7 океанографических разрезов, где определялось вертикальное распределение температуры, солёности и растворенного в воде кислорода. Общее количество полученных данных превышает 360 тысяч.

На основе более чем 40 тысяч измерений температуры и относительной влажности воздуха, атмосферного давления, скорости и направления ветра, потока коротковолновой солнечной радиации были проанализированы климатические изменения в северных полярных районах. Результаты измерения общего содержания в атмосфере озона в 2013 году показали его увеличение по сравнению с аналогичным периодом 2012 года.

За период экспедиции проведено исследование гидрооптических характеристик поверхностных вод, получены данные о

распространении фотосинтетически активной радиации в эвфотическом слое исследуемых морей. В Баренцевом и северной части Карского моря на 69 станциях 6 океанографических разрезов выполнен отбор проб морской воды с различных глубин для определения содержания кремния, нитратного, нитритного, аммонийного и общего азота, минерального и общего фосфора, растворенного кислорода, органического углерода, углеводов, рН, общей щелочности, содержания катионов натрия, кальция, магния, калия, проведено изучение особенностей пространственного и вертикального распределения численности и биомассы фитопланктона. Для определения электрофизических свойств воды и льда проведено обследование снежников, припайного и покровного льда, морской и талой воды на полуостровах Канин и Югорский, островах Колгуев, Вайгач, Хейса, Чамп, Гукера, леднике Седова, побережье заливов Русская Гавань, Ледяная Гавань и мысе Желания Северного острова Новой Земли.

Используя материалы, предоставленные Центром космического мониторинга Арктики САФУ имени М. В. Ломоносова, начиная с 2012 года участники экспедиции осуществляют дистанционные наблюдения в Арктике для моделирования процессов и явлений в открытом океане и прибрежной зоне морей. В 2013 году были продолжены комплексные испытания системы мониторинга ледовой обстановки с использованием данных дистанционного зондирования Земли и математическое моделирование динамики ледяного покрова на акваториях Баренцева и Карского морей. Благодаря Центру космического мониторинга Арктики САФУ имени М. В. Ломоносова обеспечена геоинформационная поддержка экспедиции, в рамках которой осуществлялась публикация на геопортале университета информации о текущем местоположении НИС «Профессор Молчанов» и фотохроника наиболее значимых событий экспедиции.

Сотрудниками центра радиотехнического мониторинга в июле 2013 года на мысе Желания Северного острова Новой Земли проведены работы по установке и запуску в эксплуатацию альтернативной экологически чистой энергетической установки из ветрогенератора и комплекса солнечных батарей.

Продолжено изучение основных берегообразующих процессов и памятников морского географического наследия на островах Колгуев, Вайгач, Хейса, Чамп, Гукера, полуостровах Канин и Югорский, на

побережье заливов Русская Гавань, Ледяная Гавань, мыса Желания Северного острова Новой Земли. Для определения возраста деревянных строений дендрохронологическим методом на островах Вайгач и Гукера, побережье залива Ледяная Гавань и мысе Желания взяты образцы древесины (керны). По данным измерений годичных колец получены плавающие хронологии по всем исследуемым строениям. Дендрохронологический анализ позволил определить возраст древесины строений на ключевых участках и уточнить время строительства деревянных объектов. В настоящее время на арктических островах много неизвестных деревянных строений. Использование дендрохронологического метода позволит определить время их сооружения для восстановления истории освоения Арктики.

Расширение географии маршрута второго рейса экспедиции позволило отследить изменение состава и структуры растительных сообществ на широтном градиенте от южных тундр до арктических пустынь. Были организованы наблюдения за фенологическим состоянием видов, входящих в состав различных растительных сообществ в местах высадок. Проведено геоботаническое описание 27 различных растительных сообществ на полуостровах Канин и Югорский, островах Колгуев, Вайгач, Гукера, Хейса, Чампа, на побережье заливов Русская Гавань, Ледяная Гавань и мысе Желания. Заложено 12 пробных площадей для учета надземной фитомассы и 206 пробных площадок (50 × 50 см) в сообществах разных типов для учета видового разнообразия на единицу площади. Собран гербарный материал в количестве 350 листов 124 видов сосудистых растений и 200 образцов мхов и лишайников. Сделано 15 почвенных разрезов и химический анализ проб почвы по 35 горизонтам.

Собранные материалы позволяют лучше понять адаптивные стратегии развития растений, связанные с репродуктивными процессами, что очень важно для прогнозирования изменений состояния экосистем в условиях меняющегося климата и различных антропогенных воздействий. Исследование изменений горизонтальной структуры растительных сообществ на широтном градиенте с изучением степени неоднородности распределения видов, входящих в их состав, отражают особенности распределения экологических ниш и характера межвидовых взаимоотношений между растениями, что позволяет лучше понять особенности структуры и принципы функционирования полярных экосистем. Подобные

наблюдения в Арктическом регионе ранее не проводились, а организовать их позволила высокая мобильность НИС «Профессор Молчанов» и спланированный маршрут второго рейса экспедиции «Арктический плавучий университет 2013».

Впервые в программу первого и второго рейсов экспедиций 2013 года были включены исследования по адаптации организма участников экспедиции к экстремальным условиям Арктики. Проанализированы показатели деятельности сердечно-сосудистой и центральной нервной системы членов экспедиции в течение рейса, выявлена позитивная тенденция адаптации участников экспедиции к морю. Несмотря на экстремальные и непривычные условия жизнедеятельности уровень работоспособности у участников экспедиции на протяжении всего плавания был выше среднего.

Исследование особенностей эксплуатации судовой энергетической установки, ее главных и вспомогательных элементов в арктическом плавании, измерение уровня шума и вибрации главного двигателя во льдах и на спокойной воде, а также уровня шума и вибрации в жилых помещениях экипажа и пассажиров — новые направления в научной программе второго рейса экспедиции. По результатам замеров шума и вибрации на НИС «Профессор Молчанов» было установлено, что шум и вибрация в рабочих и жилых помещениях судна не превышают допустимые значения санитарных норм, а судовая энергетическая установка работает стабильно на всех режимах хода судна.

Третий рейс проекта «Арктический плавучий университет» в 2013 году был также международным и посвящен 100-летию юбилею экспедиции Фритьофа Нансена и Йонаса Лиды из Норвегии по Северному морскому пути до устья Енисея и далее по Сибири до Дальнего Востока. Экспедиция состоялась 6—17 августа 2013 года по маршруту Архангельск — о. Колгуев — о. Вайгач — п-ов Ямал — о. Диксон — Дудинка — Норильск. Организаторами, наряду с САФУ имени М. В. Ломоносова, были Университет Тромсе (Норвегия), Норвежский Полярный Институт, Сибирский Федеральный Университет, Северное УГМС. В экспедиции приняли участие представители образовательных и научно-исследовательских учреждений, органов федеральной, региональной и муниципальной власти, бизнес-сообщества, средств массовой информации России, Норвегии и Франции. Участники экспедиции посетили поселки Бугрино, Диксон, Дудинка и город Норильск, где познакомились с

образом жизни населения Крайнего Севера, важными историко-культурными и промышленными объектами. Перед выходом в экспедицию 6 августа 2013 года в САФУ имени М. В. Ломоносова прошел российско-норвежский семинар «Ф. Нансен, Россия и Норвегия: сотрудничество сквозь века», на котором были заслушаны доклады, посвященные международному сотрудничеству в Арктике. На научных заседаниях на борту НИС «Профессор Молчанов» обсуждались вопросы норвежско-российских перспектив в сфере изучения Арктики; сотрудничества в освоении Северного морского пути; геополитики в Арктике; развития Баренцев Евро-Арктического региона (БЕАР); проблемы коренных народов Севера.

В 2014 году по проекту «Арктический плавучий университет» были проведены две экспедиции. В течение первого рейса в июне 2014 года пройдено 9700 км по маршруту Архангельск — Белое море — Кемские шхеры — Баренцево море — Шпицберген — Баренцево море — Архангельск. Участники достигли нулевого Гринвичского меридиана. Были продолжены комплексные океанографические, гидрохимические, гидробиологические, географические исследования на побережье островов и акватории Белого, Баренцева и Гренландского морей. Впервые был организован отдельный научный отряд, который с 6 по 13 июня 2014 года проводил геоморфологические исследования в районе Баренцбурга на архипелаге Шпицберген, а в дальнейшем продолжил свою работу на НИС «Профессор Молчанов».

Второй рейс в августе 2014 года проходил по трассе Северного морского пути от Архангельска до Диксона, далее через Карское море до бухты Ледяная Гавань и мыса Желания на Северный остров Новой Земли, затем по Карскому морю до о. Вайгач, через пролив Югорский Шар в Баренцево море до поселка Индига — Белое море — о. Сосновец — с. Нижняя Золотица — Архангельск. В отличие от предыдущих экспедиций программа работ включала наряду с естественно-научными (метеорологическими, географическими, биологическими) и социально-гуманитарные исследования по вопросам арктического права и правам коренных малочисленных народов. Были проведены историко-географические исследования на островах Баренцева и Карского морей, посвященные изучению

морского культурного наследия арктических территорий, следов поморской культуры для разработки арктической стратегии сохранения объектов историко-культурного наследия и возможных маршрутов арктического туризма.

Программа первого рейса состояла из естественно-научных модулей, второго рейса — естественно-научных и социально-гуманитарных модулей. В дополнение к лекционным, практическим и лабораторным занятиям были проведены учебные практики. Модули образовательных программ были доступны для выбора всем участникам экспедиции любого уровня и направления подготовки. Обучающиеся выбирали обязательный модуль, а дополнительные — по желанию.

Обучающиеся научились проводить океанографические, метеорологические и гидрохимические исследования, выявлять и описывать географические объекты, видовое разнообразие и экологические особенности растительного покрова и почв на островах Северный архипелага Новая Земля, Вайгач, Колгуев, Сосновец, в окрестностях поселков Диксон, Варнек, Нижняя Золотица и метеостанций Белый Нос и Индига, овладели методикой проведения историко-антропологических полевых исследований. На основе видео- и фотофиксации объектов природного и культурного наследия, описания современного состояния памятников и окружающей их среды они приобрели умения и навыки комплексного исследования морского культурного наследия. В ходе опросов были выявлены и проанализированы современные потребности местного коренного и русского населения и сложности в реализации их права на традиционный образ жизни.

Учебно-методической подготовкой молодых исследователей занимались руководители научных блоков, среди которых были преподаватели САФУ имени М. В. Ломоносова, научные сотрудники ААНИИ, ИЭПС УО РАН, работники Северного УГМС.

«Арктический плавучий университет» — новая модель обучения, способная подготовить молодых людей к жизни и работе в условиях процесса глобализации, научить их легко адаптироваться в динамично меняющихся политических, культурных и деловых ситуациях. Впервые во втором рейсе 2014 года приняли участие иностранные студенты из университетов Швеции, Дании, Норвегии, а к проведению учебных занятий, кроме преподавателей российских

вузов и научно-исследовательских институтов, были привлечены преподаватели и научные сотрудники из Канады и Франции. Международный характер образовательной программы на борту НИС «Профессор Молчанов» помог студентам в процессе обучения и общения усовершенствовать знания иностранных языков, познакомиться с культурой и обычаями других народов, заложил основы создания на НИС «Профессор Молчанов» интернационального плавучего кампуса.

Научно-образовательная программа проекта «Арктический плавучий университет» позволяет не только предоставлять обучаемым новую информацию, но и формировать у них активную позицию в решении возникающих научных проблем. Вся деятельность бакалавров, магистрантов и аспирантов в период научных экспедиций приобретает творческий исследовательский и познавательный характер.

Программа предусматривает еженедельную отчетность на научных сессиях, на которых молодые исследователи подводят промежуточные итоги своей работы. Бакалаврам, магистрантам, аспирантам предоставляется большая возможность использовать полученные знания при решении конкретных задач рационального природопользования и устойчивого развития. Подведение итогов научно-исследовательских работ происходит на научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов в сентябре, где молодые исследователи выступают с докладами по результатам проведенных работ, которые являются основой для написания курсовых и выпускных квалификационных работ. По итогам обучения и научно-исследовательской работы каждый участник получает Сертификат участника экспедиции по проекту «Арктический плавучий университет».

Проект «Арктический плавучий университет» способствует усилению профессиональной направленности в подготовке будущих специалистов. В ходе экспедиций молодые исследователи работают совместно с представителями производственных учреждений, заинтересованных в обновлении своих кадров. Прохождение производственной и научно-исследовательской практик с использованием научно-производственной базы учреждений, участвующих в проекте, повышает вероятность выпускникам университета получить работу по специальности. В Северном УГМС

уже приняты на работу несколько участников экспедиций «Арктического плавучего университета» (Бызова, 2013).

Эффективное взаимодействие различных структурных подразделений при разработке и апробации новой инновационной научно-образовательной программы проекта «Арктический плавучий университет» позволяет преобразовать процесс обучения, объединить преподавательский состав САФУ имени М. В. Ломоносова, ученых научно-исследовательских институтов, сотрудников Северного УГМС для осуществления профессионального образования путем интеграции образования, науки и производства.

Проект «Арктический плавучий университет» достойно продолжает традиции развития Российской научной школы по ведению систематических и планомерных научных исследований в условиях Европейского Севера и Арктики для рационального и экологически безопасного использования ее ресурсного и транспортного потенциалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бызова Н. М. (2012). Программа работ на НИС «Профессор Молчанов» по образовательному направлению / В сб.: Комплексная научно-образовательная экспедиция «Арктический плавучий университет — 2012»: материалы экспедиции. / Отв. ред. Боголицын. — Архангельск: ИПЦ САФУ. Ч. 1. С. 35—46.

Боголицын К. Г., Поликин Д. Ю., Бызова Н. М. (2013). Программа работ и маршрут 1 рейса экспедиции «Арктический плавучий университет-2013» на НИС «Профессор Молчанов» по научно-исследовательскому направлению / В сб.: Комплексная научно-образовательная экспедиция «Арктический плавучий университет-2013»: в 2 ч. Отв. ред. Боголицын — Архангельск: ИПЦ САФУ. Ч. 1. С. 7—15.

Боголицын К. Г., Поликин Д. Ю., Бызова Н. М. (2013). Программа работ и маршрут 2 рейса экспедиции «Арктический плавучий университет-2013» на НИС «Профессор Молчанов» по научно-исследовательскому направлению / В сб.: Комплексная научно-образовательная экспедиция «Арктический плавучий университет-2013»: в 2 ч. Отв. ред. Боголицын — Архангельск: ИПЦ САФУ. Ч. 1. С. 16—26.

Бызова Н. М. (2013) Арктический плавучий университет как инновационная образовательная программа / В сб. Рациональное природопользование: традиции и инновации. Материалы Международной научно-практической конференции, Москва, МГУ, 23—24 ноября 2012 г. / Под ред. Слипенчука. — М.: Изд. МГУ С. 32— 34.

ВОЕННАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ В ГЛАВНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ ДО 1917 г.

К. Ш. Хайруллин

Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова

194021 Санкт-Петербург, ул. Карбышева, д. 7

E-mail: khiarullink@mail.ru

Поступила в редакцию 25.09.2014

Немного истории

С древних времен сохранились описания штормов, песчаных бурь, жаркой погоды, которые повлияли на ход сражений. Наполеон Бонапарт перед нападением на Россию поручил в 1811 г. знаменитому математику академику Лапласу (кстати, автору барометрической формулы) и физику-метеорологу Монжу представить ему описание климата Европейской части России для использования в боевых действиях. Разрозненные данные наблюдений позволили исполнителям представить средние климатические данные без учета возможных экстремумов (Кулаков, Шталь, 1940).

После бегства французов из Москвы в середине октября 1812 г. войска Наполеона двинулись по Смоленской дороге (Казakov, 1974). В этот период, по данным К. Веселовского, опубликованным в его труде «О климате России» (Веселовский, 1857), в Восточной Европе стояла теплая погода на 1—2 °С выше нормы с положительными температурами. Морозы наступили лишь в ноябре, когда наполеоновские войска подошли к реке Березина. Так как вода в реках и их ложа прогрелись, лед оказался тонким (Веселовский, 1857) и проломился под тяжестью обозов и скопления войск. Часть армии погибла, но Наполеон спасся и с остатком деморализованных войск двинулся на Вильно, где по дороге потерпел поражение под Красным (Казakov, 1974). Плохо экипированные французы в морозные дни

ноября — декабря мерзли. Это дало повод расхожим легендам утверждать, что Наполеона победил «генерал Мороз».

Англичане во время Крымской войны 1854—1856 гг. писали, что у русских нет шансов победить англо-французский десант, поскольку у императора Николая I отсутствуют два лучших генерала: Январь и Февраль (Клоссовский, 1882)! Их «ёрничеству» природа преподнесла другой сюрприз. Над Балаклавской бухтой прошел мощнейший циклон (ураган), зародившийся у берегов Англии. Он разметал и уничтожил 75 % англо-французского флота и лагерь десанта на берегу Крыма. Теперь уже Наполеон III поручил известному астроному академику Леверье разобраться и ответить на вопрос, можно ли было предсказать этот шторм. Комиссия сделала вывод, что при наличии существующих метеостанций и быстрых телеграфных сообщений такая возможность была (Клоссовский, 1882; Кулаков, Шталь, 1940). Так зародилась синоптическая метеорология.

Морская метеорология

Сразу после создания ГФО (1849) адмирал Литке в 1853 г. предлагал создать при ГФО отдел морской метеорологии, однако Морское Ведомство эту идею не поддержало. Тем не менее, по настоянию Морского Ведомства с мая 1856 г. Обсерватория стала регулярно посылать депеши о состоянии температуры воздуха, облачности, силе ветра в Кронштадте и Ревеле, а с 1857 г. — в Санкт-Петербурге, Одессе, Николаеве и Риге. Лишь в 1871 г. Гидрографический департамент прикомандировал к ГФО морских офицеров Н. Мордовина, В. Иванова и Э. Майделя для изучения приборов и методов наблюдений для нужд военно-морского флота. Лейтенант Майдель, ставший впоследствии генерал-лейтенантом, опубликовал работу «Способ определения путей штормов по наблюдаемым переменам температуры». С 1872 г. стал выпускаться ежедневный метеобюллетень, в 1874 были опубликованы карты путей штормов в Европе за 1872—1874 гг.

10 октября 1874 г. Обсерватория отправила в порты Балтийского моря первое предупреждение о шторме. Тогда же была разработана

система штормовых сигналов, поднимаемых на мачтах в портах. В том же 1874 г. Управляющему Морским Министерством были посланы «соображения» директора ГФО Г. Вильда и его помощника М. Рыкачева о создании в ГФО отдела морской метеорологии и, несмотря на возражения вице-адмирала Г. Кригера, 19 апреля 1876 г. отдел морской метеорологии, наконец, был создан (Бедрицкий и др., 1999). Уже в 1886 г. было послано 123 штормовых предупреждения. Предостережения о бурях в дальнейшем стали посылаться не только на Балтику, но и на Белое, Черное и Азовское моря, Каспий, Ладожское и Онежское озера. Число удачных прогнозов достигало 75 %. Подробный анализ прогнозов публиковался в годовых отчетах о научной деятельности ГФО. Так в 1914 г. число удачных штормовых предупреждений составило: для Балтийского и Белого морей 83 %, Черного и Азовского 75 %, Каспийского 65 % (Отчет, 2015).

Аэрологические исследования

В 1845 г. профессор Казанского университета А. Попов предложил использовать воздушные змеи для исследования верхней атмосферы. В дальнейшем запуски змеев с привязанными к ним самописцами получили широкое распространение в России и Европе. Рекордные высоты подъемов достигали 4—5 км. В 1896 г. была создана Международная комиссия воздухоплавания, а в Павловске организован змейковый отдел под руководством В. Кузнецова (Бедрицкий и др., 1999). Свою деятельность в этом отделе начинал А. А. Фридман. С развитием авиации Военное Ведомство стало использовать данные исследования атмосферы на высотах, получаемые с помощью аэростатов, шаров и воздушных змеев, иногда оно даже оплачивало специальные исследования, например, в 1899 г. выделило 610 рублей на построение и запуски воздушных змеев для исследования температуры, давления и влажности на высотах (Архив ГГО). Академия наук России поощряла исследования верхней атмосферы и финансировала издание трудов и участие в международной деятельности сотрудников ГФО.

Первая Мировая война и метеорология

К началу I Мировой войны в ГФО был накоплен определенный опыт метеообслуживания флота и авиации, который был применен во время Русско-японской войны 1904—1905 гг. В эти годы Главным гидрографическим управлением выпускался труд «Руководство для плавания из Кронштадта во Владивосток». Генерал-лейтенант Э. Майдель (бывший сотрудник ГФО) срочно подготовил для издания главу «Физико-географический очерк Китайского и Желтого морей» с подробным описанием температуры воздуха и воды, давления, солености, направления течений, а также муссонов, тайфунов и материковых штормов (Клоссовский, 1882). А. Воейков, будучи председателем Метеорологической комиссии Русского географического общества, подготовил для Военного Ведомства описание климата района боевых действий на Дальнем Востоке (Шпиндлер, 1904).

1 августа 1914 г. Россия вступила в I Мировую войну. Директор ГФО академик Б. Голицын сразу перевел деятельность Обсерватории на обслуживание армии и флота. Она обеспечивала метеоинформацией Генеральный штаб, а также Управление военной авиации и воздухоплавания (Отчет, 1915). Военное Ведомство признало необходимость произвести частичную милитаризацию ГФО «главным образом в части её ведающей синоптической метеорологией». Обсерватория добровольно отказалась от 170 тыс. руб., внесенных в смету 1915 г. на модернизацию сети станций. Было приостановлено издание ежедневного и ежемесячного бюллетеней погоды и публикация ежегодных данных наблюдений по территории России. Сотрудниками метеорологического отделения и отделений ежедневного и ежемесячного бюллетеней усилили отдел синоптических работ, возглавляемый Б. Мультиановским, и перешли целиком на обслуживание нужд Военного и морского ведомств. Фактически на базе трех отделений в 1914 г. был создан отдел Военной метеорологии, хотя это не было проведено специальным приказом. В армию ушло большое число сотрудников, как по призыву, так и добровольно. Среди последних были сотрудники

Павловской обсерватории А. Фридман и Н. Калитин, которые в 1915 г. прошли курсы пилотов и стали совершать боевые вылеты (Отчет, 1916). В августе 1914 г. А. Фридман поступил в авиаотряд особого назначения и организовал наблюдения за скоростью и направлением ветра, принимал участие в полетах по испытанию прицельных приборов с целью бомбометания. Он выполнил теоретические разработки вопросов траектории бомб в зависимости от высоты, скорости полета самолета и плотности воздуха; составленная им докладная записка (март 1915 г.) нашла поддержку Великого князя Александра Михайловича, вследствие чего был издан приказ о создании Центральной аэрологической станции при посредстве прапорщика Фридмана (Отчет, 1917). Благодаря Фридману метеорологические наблюдения в авиационных частях завоевали себе «права гражданства». За боевые вылеты А. Фридман был награжден Георгиевским Крестом и Почетным Георгиевским оружием и направлен инструктором в школу авиаторов в Киев, где составил «Конспект лекций по аэронавигации» (Хайруллин, 2013).

Создание Военмета

Директор ГФО академик Б. Голицын разработал проект создания Главного военно-метеорологического Управления (Военмет). Для обеспечения военных нужд и сохранения военной тайны Голицын предложил ввести на время войны всю метеорологическую службу в Военное Ведомство, учредив для этого особую организацию, в которую вошли старшие сотрудники соответствующих отделений Обсерватории. Они должны были заниматься делами, составляющими военную тайну. Была прекращена публикация метеоданных в газетах и открытой печати, летом 1915 г. стали шифровать передачу метеосводок, в связи с отсутствием информации, передаваемой с Запада, появилось понятие «обрезанные карты». При штабах армии были организованы метеонаблюдения в авиационных ротах, учреждены должности метеорологов, которые дважды в сутки посылали сводки погоды в штаб авиации. 22 декабря 1915 г. было принято решение о формировании Главвоенмета, военных

метеорологических управлений при штабах армий и метеостанций при авиационных ротах (Отчет, 1917). 3 января 1916 г. начальником Главвоенмета был назначен директор ГФО Б. Голицын (Отчет, 1918). Заведующим службой предсказания погоды был назначен И. П. Семенов-Тянь-Шанский, зав. отделом методов предсказания погоды Б. Мультиановский, зав. инструментальным отделом наблюдений и поверки приборов В. Попов. Все они являлись сотрудниками ГФО. Было составлено около 30 климатических описаний по многолетним данным районов боевых действий для различных фронтов и для различных сезонов (Климатические условия, 1916). В апреле 1916 г. были организованы метеорологические отделения при штабах армии, в авиаотрядах организованы метеонаблюдения (Советов, 1904). В самый разгар этих работ скоропостижно скончался академик Голицын, и обязанности директора и начальника Военмета были возложены на академика А. Крылова, который возглавлял ГФО до февраля 1917 г. и передал Главвоенмет И. П. Семенову-Тянь-Шанскому. Свержение монархии в феврале 1917 г. общее собрание ГФО одобрило и послало приветствие Временному Правительству, в котором обещало отдать все свои силы и знания для нужд армии для созидательной работы на благо Родины (Отчет, 1918). К Октябрьским событиям служащие отнеслись отрицательно, тем не менее, постановили продолжать свою работу, так как Обсерватория помимо чисто научной работы внутреннего характера была обязана ежедневно производить наблюдения за погодой и непрерывно обслуживать нужды действующей армии и Военного ведомства (Отчет, 1918).

Опыт создания в ГФО Главмета и обеспечение необходимой информацией сухопутных войск, авиации и флота сыграл значительную роль в становлении военной метеорологии в СССР и был использован в годы Великой Отечественной войны 1941—1945 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Архив ГГО. Переписка 1901—1916 гг. Ф. № 324.
- Бедрицкий А. И., Борисенков Е. П., Пассецкий В. М. и др.* (1999). Очерки по истории Гидрометеослужбы России. Т. 2. — СПб: Гидрометеоздат. С. 6—7, 37—42.
- Веселовский К.* (1857). О климате России. — СПб: Императорская АН. С. 87, 125, 255, 259—260.
- Казаков Н. И.* (1974). Отечественная война 1812 г. — М.: БСЭ. Т. XVIII. С. 612—613.
- Климатические условия в районе Северного Фронта на март месяц (1916). — Петроград. С. 1—36.
- Клоссовский А.* (1882). Новейшие успехи метеорологии. Одновременная система наблюдений и предсказания погоды. — Одесса: Одесский Университет.
- Кулаков А. А., Шталь В. А.* (1940). Военная метеорология. — М.: Воениздат. С. 5—6.
- Отчет о деятельности ГФО за 1914 г. (1915) / Часть I. Ученая деятельность. — Петроград.
- Отчет о деятельности ГФО за 1915 г. (1916) / Часть I. Ученая деятельность. — Петроград.
- Отчет о деятельности ГФО за 1916 г. (1917) / Часть I. Ученая деятельность. — Петроград.
- Отчет о деятельности ГФО за 1917 г. (1918) / Часть I. Ученая деятельность. — Петроград.
- Советов С.* (1904). Обзор русской и иностранной литературы. Физико-географический очерк Китайского и Желтого морей. / Составил Э. Майдель. Метеорологический вестник. № 6. С. 182—184.
- Хайруллин К. Ш.* (2013). Фридман Александр Александрович: к 125-летию со дня рождения // Ученые записки Забайкальского ГУ. Серия физика, математика, технология. № 3. С. 157—158.
- Штиндлер И. Б.* (1904). Климат Дальнего Востока // Метеорологический вестник. № 6. С. 163—179.

Валентин Петрович Мелешко К 80-летию со дня рождения

29 октября исполнилось 80 лет ведущему ученому в области теории климата и гидродинамического моделирования атмосферных процессов, доктору физико-математических наук, заслуженному деятелю науки РФ Валентину Петровичу Мелешко.

Валентин Петрович Мелешко поступил в Главную геофизическую обсерваторию им. А. И. Воейкова в 1957 г. после окончания Ленинградского Высшего инженерного морского училища им. адмирала С. О. Макарова. С этого момента вся его профессиональная деятельность теснейшим образом связана с ГГО.

Творческий подход к делу, хорошая теоретическая подготовка, интерес ко всему новому, энергия и целеустремленность быстро вывели В. П. Мелешко на передний край исследований в области теории климата и численного гидродинамического моделирования атмосферных процессов.

В середине 1970-х годов В. П. Мелешко возглавил в ГГО работы по созданию моделей общей циркуляции атмосферы для исследований в области теории климата и долгосрочного прогноза погоды. Под руководством В. П. Мелешко и при его активном участии в ГГО была разработана глобальная модель общей циркуляции атмосферы, а в последние годы впервые в Росгидромете создана объединенная модель общей циркуляции атмосферы и океана, соответствующая международным стандартам и предназначенная для оценок будущих изменений глобального и регионального климата.

В целях более глубокого изучения регионального климата по инициативе и под руководством В. П. Мелешко начаты и успешно развиваются работы по созданию и использованию региональной модели для исследования климата отдельных регионов России.

Большое практическое значение имеют возглавляемые В. П. Мелешко работы по созданию и совершенствованию гидродинамико-статистического ансамблевого метода долгосрочного метеорологического прогноза на месяц на базе разработанной в ГГО глобальной модели общей циркуляции атмосферы. Специалисты ГГО под руководством В. П. Мелешко, выполняющие исследования в области долгосрочного прогнозирования, активно участвуют в

международной программе APCN по созданию мультимодельной системы сезонных прогнозов для азиатско-тихоокеанского региона.

В. П. Мелешко был инициатором подготовки и издания Оценочного доклада об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, впервые обобщившего результаты новейших отечественных и зарубежных исследований в области изменений климата России в XX веке. По объему представленных материалов и многообразию рассмотренных вопросов опубликованный в 2008 г. «Оценочный доклад» не имеет аналогов. В 2011—2013 гг. работы в этом направлении при активном участии В.П.Мелешко были продолжены, результатом этих работ стал Второй «Оценочный доклад», опубликованный в 2014 г.

Плодотворная научная деятельность В. П. Мелешко, его высочайший профессионализм получили широкое международное признание. В мировом научном сообществе В. П. Мелешко хорошо известен как один из ведущих экспертов в области климатического моделирования. Он неоднократно представлял нашу страну на международных форумах самого высокого ранга.

В. П. Мелешко ведет активную работу в различных советах, экспертных группах и редколлегиях журналов.

Вклад В. П. Мелешко в науку, результаты его труда отмечены ведомственными, государственными и международными наградами.

Возглавляя ГГО с 1994 по 2007 гг., В. П. Мелешко сделал все возможное для сохранения основных направлений работ Обсерватории, расширения фундаментальных научных исследований, активизации хозяйственной деятельности. В зоне его пристального внимания постоянно находились вопросы научного, технического, социального и бытового развития Обсерватории.

В. П. Мелешко отличает исключительно бережное отношение к истории и традициям ГГО, уважение к специалистам, создававшим и создающим ее славу.

В настоящее время В. П. Мелешко руководит отделом динамической метеорологии ГГО. Выполняемые под руководством В. П. Мелешко исследования отличаются высочайшим уровнем исполнения, глубиной проникновения в существо рассматриваемых проблем, оригинальностью и технологичностью реализуемых методов и технологий.

Коллектив сотрудников Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова сердечно поздравляет Валентина Петровича Мелешко с юбилеем и желает ему доброго здоровья, неиссякаемой энергии и дальнейших творческих успехов!

Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова

Давид Львович Лайхтман
(1914—2004)

К 100-летию со дня рождения

25 ноября 2014 года исполнилось 100 лет со дня рождения Давида Львовича Лайхтмана.

Давид Львович является одним из ярких представителей блестящей плеяды ученых, активно развивавших метеорологическую науку в 40—70 годы прошлого столетия. Благодаря теоретическим разработкам этих ученых метеорология превратилась из преимущественно описательной дисциплины в современную высокотехнологичную область исследований.

Давид Львович родился в Белоруссии. Образование ему удалось получить на рабфаке при ЛГУ. Первое время учеба давалась ему нелегко, и он уже хотел оставить занятия, но молодая преподавательница Евгения Семеновна Селезнева увидела в этом юноше, не имеющем систематического образования, большие дарования и уговорила его продолжить учебу. Активная научная деятельность Давида Львовича началась с поступлением на работу в Главную геофизическую обсерваторию. Первое время его руководителем был профессор Павел Александрович Молчанов. Именно его Давид Львович считал своим главным учителем, как в науке, так и в жизни.

Очень скоро выяснилось, что интересы молодого ученого широки и разнообразны. Его постоянно переполняли новые физические идеи, работа сопровождалась поиском и развитием математических методов для решения различных прикладных задач. В военные годы теоретические разработки Давида Львовича позволяли успешно выполнять задания военного руководства.

Научные заслуги Давида Львовича отражены в сотнях статей и нескольких монографиях, переизданных во многих странах. Необходимо сказать о том, что им было создано важное направление теоретической и прикладной метеорологии — физика пограничного слоя атмосферы. Основанный и руководимый им в течение двух десятков лет в ГГО Отдел физики — сначала приземного, потом пограничного слоя атмосферы — добился значительных успехов в исследованиях физических механизмов, формирующих структуру прилегающих к земной поверхности слоев воздуха. Многочисленные

работы Давида Львовича и его учеников нашли применение в решении целого ряда практических проблем, в частности, в задачах регионального моделирования изменений климата, агрометеорологии, оценках загрязнения окружающей среды, морской метеорологии. Большой вклад внесли труды Давида Львовича в разработку схем параметризации пограничного слоя для гидродинамических моделей атмосферы, являющихся основой прогнозов погоды различной заблаговременности.

Давид Львович никогда не был кабинетным ученым. Под его руководством и при его непосредственном участии были проведены комплексные экспедиции в различные регионы — от Северного полюса до пустынь Средней Азии и от побережья Черного моря до центральных районов Атлантики. Материалы этих экспедиций не утратили своего значения в настоящее время, особенно сейчас при современном дефиците данных натуральных наблюдений. Экспедиционная деятельность Давида Львовича служит примером гармоничной организации научных исследований.

В личности Давида Львовича мы находим пример редкого сочетания достоинств крупного ученого с талантом замечательного педагога. Склонность к преподавательской работе проявилась у него уже в юные годы: до войны Давид Львович руководил занятиями аэрологией в секции геофизики Дворца пионеров. Давид Львович умел и любил учить, заражая своих учеников увлеченностью научным поиском. Он многие годы работал в ЛГМИ и постоянно обновлял свой лекционный курс, следя за тем, чтобы содержание предмета отражало современное состояние науки. Давид Львович заведовал кафедрой теоретической физики атмосферы, не прекращая научной работы и руководя многочисленными аспирантами. Он воспитал плеяду ученых, успешно развивающих его идеи в современных направлениях науки об окружающей среде. Он был Учителем, гордившимся и радовавшимся каждому успеху своих учеников и коллег. Давид Львович был соавтором и редактором двух учебников динамической метеорологии, которые до сих пор являются настольной книгой студентов, аспирантов и преподавателей.

Тем, кто не знал Давида Львовича, трудно представить себе огромное обаяние личности этого человека. Он сочетал в себе редкое благородство взглядов на жизнь и науку, оптимизм, доброту, непосредственность, полное отсутствие карьеризма и любовь к людям.

Он ценил дружбу и всегда помогал тем, кто нуждался в помощи. При встрече с ним невозможно было не улыбнуться. Он пользовался всеобщей любовью, и сам на большой научной конференции мог сказать: «Я люблю вас всех!»

След, оставленный Давидом Львовичем Лайхтманом в науке и в сердцах его коллег и учеников, неизгладим. Светлая память о нем останется навсегда.

УДК 551.465.7, 539.186

Модельные оценки потоков кислорода через поверхность Арктических морей. Надёжина Е. Д., Стернзат А. В., Бортковский Р. С., Пикалева А. А., Егоров Б. Н., Школьник И. М. Труды ГГО. 2014. Вып. 572. С. 7—29.

На основе модели газопереноса и климатических данных, полученных с использованием комплекса моделей CMIP5 и региональной климатической модели ГГО, анализируется распределение потоков кислорода через поверхность Арктических морей. Показаны различия в потоках O_2 через поверхность Баренцева моря и через поверхность Срединных Арктических морей (Карского моря, моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря). Выполнено сравнение расчетных значений потоков O_2 с имеющимися литературными данными.

Ключевые слова: газоперенос, поток кислорода, Арктические моря, климат.

Табл. 3. Ил. 6. Библ. 24.

УДК 551.509

Численное моделирование влияния сажевого аэрозоля на эволюцию конвективного облака при сильном аэрозольном загрязнении атмосферы. Веремей Н. Е., Довгалюк Ю. А., Дорофеев Е. В., Синькевич А. А., Комаровских К. Ф. Труды ГГО. 2014. Вып. 572. С. 30—43.

Исследовано влияние сажевого аэрозоля большой концентрации на эволюцию конвективного облака методом численного моделирования. Была рассмотрена атмосферная ситуация, имевшая место в Москве и ее окрестностях 06.08.2010 г. (развитие конвективных облаков в условиях сильного задымления при лесных пожарах). Расчеты выполнялись с помощью численной нестационарной модели малой размерности, разработанной в ГГО. Предполагалось, что сажевый аэрозоль оказывает льдообразующее действие на облако. Получено, что наличие учета сажи приводит к значительному увеличению интенсивности осадков у Земли по сравнению со случаем отсутствия учета сажевого аэрозоля.

Ключевые слова: сажа, численное моделирование, конвективные облака.

Табл. 2. Ил. 5. Библ. 19.

УДК 551.510.04

Усовершенствование фотометрического метода определения концентрации сажевого аэрозоля в атмосферном воздухе. Успенский А. А., Вольберг Н. Ш., Степаков А. В. Труды ГГО. 2014. Вып. 572. С. 44—56.

Предложен фотометрический метод определения сажевого аэрозоля в атмосферном воздухе. Метод заключается в отборе проб сажи на аналитические аэрозольные фильтры АФА-ВП-10, растворении фильтра с пробой в диметилсульфоксиде (ДМСО), с последующей ультразвуковой обработкой пробы и фотометрическом анализе суспензии. Чувствительность метода — $0,03 \text{ мг/м}^3$ при скорости отбора проб 20 л/мин и времени отбора 30 мин.

Ключевые слова: сажа, фотометрический метод, стабильная суспензия, аэрозольные фильтры, ультразвуковое диспергирование, диметилсульфоксид (ДМСО).

Табл. 2. Рис. 3. Библ. 20.

УДК 551.588

Мониторинг прозрачности атмосферы: результаты измерений за последние десятилетия. (Обзор). Махоткина Е. Л., Плахина И. Н. Труды ГГО. 2014. Вып. 572. С. 57—88.

Представлен обзор результатов мониторинга аэрозольной оптической толщины (АОТ), фактора мутности атмосферы и приходящей солнечной радиации за последние десятилетия для территории РФ и других регионов Земного шара. Рассмотрены эмпирические тренды по данным различных наблюдательных систем: наземная актинометрическая сеть, глобальная сеть AERONET, данные спутникового мониторинга (MODIS). Рассмотрены долговременные изменения аэрозольной прозрачности атмосферы на территории РФ, связанные с поступлением вулканического аэрозоля в атмосферу (вулканические извержения) и процессами его трансформации. Рассмотрены явления глобального помутнения (“global dimming”) и просветления (“global brightening”) атмосферы в разных регионах Земного шара по данным сетевых наблюдений.

Ключевые слова: мониторинг, прозрачность атмосферы, атмосферный аэрозоль, сетевые наблюдения, тренды.

Табл. 3. Ил. 9. Библ. 75 .

УДК 551.509

О модели комплексного показателя преломления аэрозольного вещества. Ивлев Л. С., Майборода Л.А. Труды ГГО. 2014. Вып. 572. С. 89—99.

Обсуждается проблема моделирования комплексного показателя преломления вещества аэрозолей. Предпочтение отдается синтетической модели, создаваемой из отдельных химических компонент в пропорциях, соответствующих их содержанию в изучаемой среде. Рассматривается не обсуждавшаяся ранее проблема влияния «свободного объема» на эффективные значения комплексного показателя. Показана относительно слабая зависимость этих значений от внутренней организации вещества, которая связана с упорядочением собственных точечными и структурными дефектами.

Ключевые слова: комплексный показатель преломления, синтетическая модель, структурные дефекты, свободный объём, надмолекулярная организация, электронная плотность, концепция смешивания.

Ил. 2. Библ. 15.

УДК 551.521.9, 551.506.3

Многолетние изменения естественной освещенности земной поверхности в Москве. Шиловцева О. А. Труды ГГО. 2014. Вып. 572. С. 100—122.

Изложена история развития светоклиматических измерений в России. Проанализированы результаты мониторинга суммарной, рассеянной и прямой освещенности земной поверхности в Москве в 1964—2013 гг. На фоне квазициклических колебаний выявлены статистически значимые линейные тренды увеличения прямой освещенности и уменьшения рассеянной. Отмечен рост суммарной освещенности, хотя статистически и не значимый. Самые заметные изменения освещенности характерны для весеннего периода года. Это достаточно хорошо согласуется с многолетними изменениями основных климатообразующих факторов (облачность, прозрачность атмосферы, альbedo подстилающей поверхности).

Ключевые слова: естественная освещенность, линейные тренды, климатообразующие факторы.

Табл. 5. Рис. 4. Библ. 59.

УДК 551.006 (46+57)

Периферийные подсистемы метеорологических аэродромных и сетевых измерительно-информационных систем. Медведев Д. Н., Персин С. М. Труды ГГО. 2014. Вып. 572. С. 123—139.

Рассматриваются периферийные средства получения, обработки и отображения метеорологической информации, входящие в состав автоматизированных измерительно-информационных систем, прежде всего на аэродроме. Представлена информация по различным периферийным подсистемам: выносным индикаторным устройствам, автономным средствам отображения датчиков, автономным подсистемам: состояния ВПП, получения климатических характеристик аэродрома и др. Даны примеры отображаемой информации для метеоперсонала аэродрома. Изложен анализ возможностей расширения областей применения периферийных подсистем для решения задач комплексной автоматизации метеорологического обеспечения аэродрома и родственных задач, связанных с развитием автоматизации сети.

Ключевые слова: автоматическая измерительная система, устройство отображения информации, информационные окна, метеорологическое обеспечение авиации, мониторинг состояния автоматизированной наблюдательной сети.

Ил. 8. Библ. 3.

УДК 551.501.815

Применение критериев распознавания грозных кучево-дождевых облаков в алгоритмах вторичной обработки радиолокационной информации, получаемой с помощью метеорадиолокаторов нового типа. Дорофеев Е. В., Львова М. В., Попов И. Б., Тарабукин И. А. Труды ГГО. 2014. Вып. 572. С. 140—152.

Обсуждается вопрос адаптации существующих радиолокационных критериев распознавания грозных облаков применительно к новым типам доплеровских метеорологических радиолокаторов (ДМРЛ). Сформулирована процедура оценки качества алгоритмов распознавания, на основании которой проведен анализ радиолокационных данных нескольких ДМРЛ. Высказаны предложения о направлениях дальнейшего совершенствования этих алгоритмов.

Ключевые слова: опасное явление погоды, гроза, доплеровский метеорологический радиолокатор, сопоставление информации.

Табл. 2. Библ. 9.

УДК 551.501.89

Использование сопоставления метеорологических радиолокационных данных с целью относительной калибровки метеорологических радиолокаторов. Дорофеев Е. В., Львова М. В., Попов В. Б., Тарабукин И. А. Труды ГГО. 2014. Вып. 572. С. 153—161.

Изложена методика сопоставления рядов метеорологических радиолокационных данных, полученных от двух независимых МРЛ. Результаты сопоставления могут быть использованы для оценки работоспособности и относительной калибровки радиолокаторов.

Ключевые слова: относительная калибровка, доплеровский метеорологический радиолокатор, сопоставление информации.

Ил. 4. Библ. 4.

УДК 002.5: 551.5: 681

Создание технологии управления данными в автоматизированной архивной системе. Долгих С. Г., Шаймарданов В. М. Труды ГГО. 2014. Вып. 572. С. 162—174.

Создана технология, позволяющая организовать доступ к данным архивной системы, по запросам пользователей. Технология представлена в виде многоуровневой системы. Представлена модель описания гидрометеорологических данных. На основе модели реализуется система поиска и управления гидрометеорологическими данными в автоматизированной архивной системе. Данная разработка значительно упрощает управление фондом гидрометеорологических данных

Ключевые слова: модель описания, управление, данные, гидрометеорология.

Ил. 1. Библ. 6.

УДК 551.594

Особенности возмущений микровариаций давления, электрического поля во время Текелийского и Капчагайского землетрясений.

Дробжева Я. В., Краснов В. М., Салихов Н. М., Дробжев В. И.
Труды ГГО. 2014. Вып. 572. С. 176—190.

Анализ экспериментальных записей приземного электрического поля и микровариаций давления за 2011—2014г.г. выявил уникальность возмущений, зарегистрированных во время Капчагайского и Текелийского землетрясений. Для доказательства их связи с процессом подготовки землетрясений необходимы дополнительные исследования при повторенных сильных землетрясениях в этих очагах.

Ключевые слова: возмущения электрического поля, микровариации атмосферного давления, землетрясения.

Ил. 9. Библ. 4

УДК [551.46.062+551.5] (985)

Новые технологии подготовки кадров в сфере геополитических и экономических интересов России в Арктике. Бызова Н. М. Труды ГГО. 2014. Вып. 572. С. 191—205.

Проект «Арктический плавучий университет» — новая модель междисциплинарного обучения молодых людей в условиях глобализации. Цель — интеграция инновационных образовательных программ высшего профессионального образования и междисциплинарных научных экспедиционных исследований на судне «Профессор Молчанов» в Арктике. Участники — студенты, преподаватели, научные сотрудники российских университетов, научных, производственных организаций. Во время экспедиций на борту судна студенты слушают курс лекций по основам пространственно-временной организации морских и наземных арктических и субарктических экосистем, знакомятся с методикой морских и наземных экспедиционных исследований.

Ключевые слова: Арктический плавучий университет, инновационный проект, научно-образовательные программы, интеграция учебных дисциплин.

Библ. 4.

УДК 551.5

Военная метеорология в Главной физической обсерватории до 1917 года.
Хайруллин К. Ш. Труды ГГО. 2014. Вып. 572. С. 205—211.

Систематизированы материалы об участии ГФО в работах по метеообеспечению армии и флота. Описана деятельность ГФО в период Первой мировой войны.

Ключевые слова: метеообеспечение, прогнозы, аэрологические наблюдения, Военмет.

Библ. 14.

Model estimates of the oxygen transfer through Arctic seas surface.

Nadyozhina E. D., Sternzat A. V., Bortkovski R. S., Pikalyova A. A., Egorov B. N. Shkolnik I. M. Proceedings of MGO. 2014. V. 572. P. 7—29.

Using sea-air gas transfer model and climate data, which are obtained on the basis of models set CMIP5 and regional climatic MGO model, the space distribution of oxygen transfer through Arctic seas surface is analyzed. Differences between O₂ fluxes through Barents Sea surface and through Mediterranean Arctic seas (i.e., Kara Sea, Laptevs Sea and East-Siberian Sea) are shown. Calculated values of O₂ fluxes are compared with available results known by publications.

Keywords: gas transfer, oxygen flux, Arctic seas, climate.

Tab. 3. Fig. 6. Ref. 24.

Numerical simulation of the impact of soot aerosol particles on Cu development at the conditions of high atmospheric pollution. Veremey N. E., Dovgaluk Yu. A., Dorofeev E. V., Sinkevich A. A., Komorovskikh K. F. Proceeding of MGO. 2014. V. 572. P. 30—43.

An impact of high concentration of soot aerosol on convective cloud development was investigated by numerical simulation. Atmospheric situation which occurred in Moscow and it's neighborhood on Aug 06 2010 was examined (convective clouds developed in conditions of heavy smoke emission caused by forest fires). Calculations were performed using low-dimensional numerical non-stationary model developed in MGO. It was proposed that soot aerosol had ice-forming properties. It was obtained that presence of soot aerosol resulted in significant increase of precipitation near the Earth surface.

Keywords: soot, numerical simulation, cumulus cloud.

Tabl. 2. Fig. 5. Ref. 19.

Improvement of the photometric method for determining the concentration of soot aerosol in the atmosphere. Uspensky A. A., Volberg N. Sh., Stepakov A. V. Proceedings of MGO. 2014. V. 572. P. 44—56.

We propose a photometric method for determination of soot aerosol in the atmosphere. Method is consisted in collecting of the soot samples on the analytical aerosol filters AFA-VP-10, dissolving the filter with the sample in dimethyl sulfoxide (DMSO), following sonicating of the sample and photometric analyzing of the suspension. Sensitivity of the method – 0,03 mg/m³ at the sampling rate of 20 l/min and a sampling time of 30 min.

Keywords: soot, photometric method, stable suspension, aerosol filters, ultrasonic dispersing, dimethyl sulfoxide (DMSO).

Tab. 2. Fig. 3. Ref. 20.

Monitoring of the atmospheric transparency: results of the measurements during last decades., Makhotkina E. L., Plakhina I. N. Proceeding of MGO. 2014. V. 572. P. 57—88.

Review of the results of the monitoring for the aerosol optical thickness (AOT), turbidity factor of the atmosphere and downwelling solar radiation during last decades is presented for the Russia territory and for the different Earth regions. Empirical trends by the data of the different observation systems: surface actinometric network of Roskomhydromet, global network AERONET for AOT monitoring and satellite monitoring data (MODIS) are considered. Long-term variatios for the aerosol optical thickness for the Russia territory, connected with the aerosol coming in to atmosphere because of volcano eruptions and its transformation processes . Global “dimming” and global “brightening” in the atmosphere are examined in the different Earth regions by the data of the international network observations.

Keywords: monitoring, atmospheric transparency, atmospheric aerosol, network observations, trends.

Tabl. 3. Fig. 9. Ref. 75.

Long-term variability of natural illuminance in Moscow. Shilovtseva O. A. Proceedings of MGO. 2014. V. 572. P. 100—122.

A brief history of daylight measurements development in Russia is presented. The analysis of the monitoring results of total, direct and diffuse of natural illuminance of horizontal surface in Moscow during 1964—2013 is presented. The evaluation of long-term features of yearly day lighting changes was shown that the quasi-cyclic fluctuations occur on the background of statistically significant linear trends of direct illuminance increasing and diffuse illuminance reducing. The increase of the total illuminance is observed, although it is statistically not significant. The most noticeable daylight changes are characteristic of the spring. This agrees quite well with the long-term changes of basic climatic factors (cloudiness, atmospheric transparency, surface albedo).

Keywords: natural illuminance, linear trends, basic climatic factors.

Tab. 5. Fig. 4. Ref. 59.

Peripheral subsystems of the automated airport and network weather observation systems. Medvedev D.N., Persin S. M. Proceeding of MGO. 2014. V. 572. P. 123—139.

Peripheral devices and subsystems for obtaining, processing and displaying of meteorological information in the automated weather observation systems, especially at the airports, are considered. Information on several peripheral subsystems is presented: remote indicating unit (RIU), autonomous sensors displays, runway condition monitoring system, airfield climatic data gathering system, and others. The examples of the information displayed for the meteo staff of the airfield are given. The analysis is set up describing the possibilities of extending the application of the considered subsystems on the related fields like monitoring surface meteorological and geophysical observations over the observation network.

Keywords: automatic measuring system, the display device, information windows, aviation meteorological services, monitoring of automated observation network.

Fig. 8. Ref. 3.

Applying of thunderclouds discrimination criteria in algorithms of new type weather radar data processing. Dorofeev E.V., Lvova M. V., Popov I. B., Tarabukin I. A. Proceedings of MGO. 2014. V. 572. P. 140—152.

The problem of adapting to the new doppler weather radar systems of existing radar criteria used for thunderclouds discrimination is discussed. The procedure for quality control of discrimination algorithms is formulated and on this basis the data of several weather radars is examined. Further development of the algorithms considered is proposed.

Keywords: dangerous weather events, thunderstorm, Doppler weather radar, data comparison.

Tab. 2. Ref. 9.

Using the comparison of meteorological radar data for the relative calibration of weather radars. Dorofeev E.V., Lvova M. V., Popov V. B., Tarabukin I. A. Proceedings of MGO. 2014. V. 572. P. 153—161.

The technique of comparing the series of weather radar data obtained by two independent weather radars is presented. Results of the comparison can be used for operative radar quality estimation and relative calibration.

Keywords: relative calibration, Doppler weather radar, data comparison.

Fig. 4. Ref. 4.

Creating a data management technology in automated archiving system. Dolgih S. G., Shaymardanov V. M. Proceeding of MGO. 2014. V. 572. P. 162—175.

A technology that allows you to organize access to the data archiving system, users' queries. The technology disclosed in the form of a multilevel system. A model for the description of hydrometeorological data. Model-based system is implemented search and management of hydrometeorological data in the automated archiving system. This greatly simplifies the development of management of hydrometeorological data fund.

Keyword: model for the description, dData management, Data, Hydrometeorology.

Fig. 1. Ref. 6.

The features of disturbances of pressure micro variations and electric field during Tekely and Kapchagai earthquakes. Drobzheva Ya. V., Krasnov V. M., Salihov N.M., Drobzhev V. I. Proceeding of MGO. 2014. V. 572. P. 175—189.

The analysis of experimental records of a surface electric field and micro variations of pressure for 2011—2014 has revealed uniqueness of the disturbances registered during Kapchagai and Tekely earthquakes. Additional researches are necessary for the proof of their connection with process of preparation of earthquakes during the repeated strong earthquakes in these centers.

Keywords: disturbance of electric field, microvariation of atmospheric pressure, earthquake.

Fig. 9. Ref. 4/

New technology training in the geopolitical and economic interests of Russia in the Arctic. Byzova N. M. Proceedings of MGO. 2014. V. 572. P. 191—205.

The project “Arctic Floating University” is a new model of interdisciplinary studies. Its target is to integrate innovational programmes of higher education and scientific research on board of the vessel “Professor Molchanov” during Arctic expeditions. The participants are students, lecturers and researchers from universities and industrial institutions. During the expeditions lectures are delivered on the subjects of spatio-temporal organization of ecosystems. Listeners learn to carry out sea and land research.

Key words: Arctic Floating University, innovative projects, research and education programs, the competence approach, the integration of academic disciplines.

Ref. 4.