

УДК 551.51; 551.59

РАЗВИТИЕ ОПАСНЫХ И НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ПО ДАННЫМ ПИЛОТНОГО ОБРАЗЦА ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ИМКЭС СО РАН, ПРЕДНАЗНАЧЕННОЙ ДЛЯ УСЛОВИЙ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

*Нагорский П.М.^{1,2}, Корольков В.А.¹, Кобзев А.А.¹, Капустин С.Н.¹,
Кабанов М.М.¹, Пустовалов К.Н.^{1,2}, Смирнов С.В.¹, Тельминов А.Е.¹*

¹Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск,
kor@imces.ru, npt_sta@mail.ru

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск,

Введение

Более 20 % территории России лежит к северу от полярного круга. Активное развитие Дальнего Востока, Крайнего Севера, Северного морского пути требует разработки автономных метеостанций, способных длительное время работать в экстремальных условиях.

Целью данной работы является анализ атмосферных условий, обусловивших возникновение таких опасных природных явлений (ОЯ) как «Шквал» и «Сильный Мороз», а также детальная оценка динамических процессов в приземном слое атмосферы при указанных ОЯ по данным пилотного образца системы метеорологического мониторинга, предназначенной для автономной работы в труднодоступных регионах Арктики, Крайнего Севера и Дальнего Востока.

Методология проведения исследований

Для анализа динамических процессов под воздействием ОЯ проведена опытная многопунктовая регистрация основных метеовеличин и параметров турбулентности, а также напряженности поля и электропроводности атмосферы. Данная система является пилотным образцом системы метеорологического мониторинга, созданием которых занимается ИМКЭС СО РАН совместно с ООО «Сибаналитприбор».

В состав системы входит измерительная сеть, состоящая из 6 пунктов, сервер сбора, обработки и передачи данных. Измерительная сеть оснащена автоматическими метеостанциями ТАА-01, измеряющими широкий спектр метеорологических и турбулентных величин, оптическими осадкомерами ОПТИОС, а также датчики напряжённости электрического поля EFS-2/50. Пункты расположения ТАА-01 представлены на рис. 1. Измерения проводятся в режиме непрерывного мониторинга с высоким временным разрешением, начиная с осени 2018 г. Данные мониторинга были дополнены данными метеостанций г. Томска, г. Колпашево, с. Кожевниково [1], данными аэрологического зондирования (г. Колпашево [2]) и данными инструментов AVHRR и MODIS спутников «NOAA», «AQUA» и «TERRA» [3].

Анализ данных мониторинга во время усиления ветра до шквала

Известно, что такое атмосферное явление как шквал характерно, главным образом, для летних месяцев, когда порождающие его кучево-дождевые облака достигают максимальной мощности, в то время как в остальную часть года они, как правило, не наблюдаются. Тем более это касается тех случаев, когда шквалистые усиления ветра достигают критериев ОЯ [4]. Однако, ослабление западного переноса в Северном полушарии, наблюдаемое в начале XXI в. [1, 5], способствует учащению «прорывов» воздушных масс с севера или юга, с которыми связаны большие градиента температуры воздуха в регионе, катализирующие конвективные процессы.

Рассмотрим метеорологическую обстановку, приведшую к появлению шквала, который был зарегистрирован в г. Томске в ночь с 28 по 29 октября 2018 г. В этот период над г. Томском и его окрестностями был зарегистрированы шквалистые усиления ветра, скорость ветра в которых превысила порог ОЯ «Шквал», который, согласно [2], составляет для юга Западной Сибири 25 м/с и более. Для понимания причин, способствующих возникновению ОЯ рассмотрим на основе синоптических карт [3] условия, предшествующие данному событию. С 24 на 25 октября над юго-востоком Западной Сибири, находящимся в арктической воздушной массе, прошёл тёплый фронт циклона, развивающегося на арктическом основном фронте, в результате чего воздушная масса над г. Томск изменилась на умеренную.

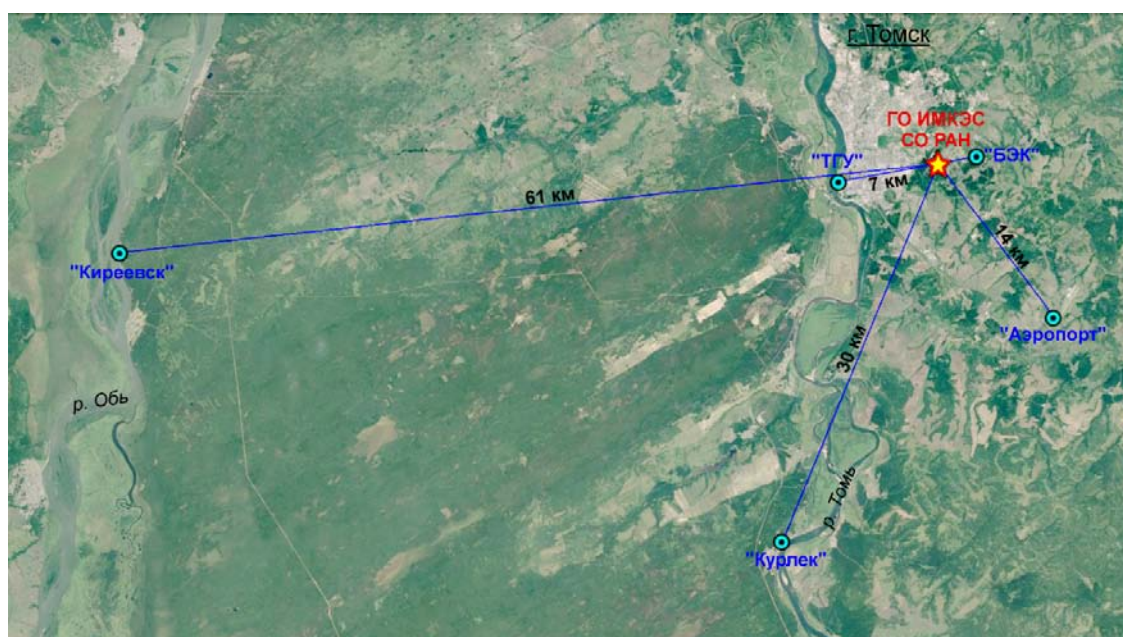


Рис. 1. Расположение пунктов пилотного образца системы метеорологического мониторинга геофизической обсерватории (ГО) ИМКЭС СО РАН.

К 27 октября арктический фронт над Сибирью вытянулся на север, достигнув г. Норильска, а на юге региона сформировался антициклон, что обусловило безоблачную погоду над г. Томском и значительный прогрев в дневные часы. Утром 28 октября 2018 г. на юго-восток Западной Сибири сместился полярный фронт, являющийся границей умеренной и тропической воздушных масс. В период с 10 до 12 ч по местному времени над г. Томск прошёл тёплый фронт и город ненадолго оказался в тропической воздушной массе, что является неестественным для данного времени года. Адвекция тепла с юга привела к быстрому росту температуры воздуха в пункте. Однако, уже к вечеру на юг Западной Сибири переместились арктическая и полярная фронтальные поверхности, идущие с небольшим интервалом и фактически «слившиеся» в единый холодный фронт II рода (рис. 2).

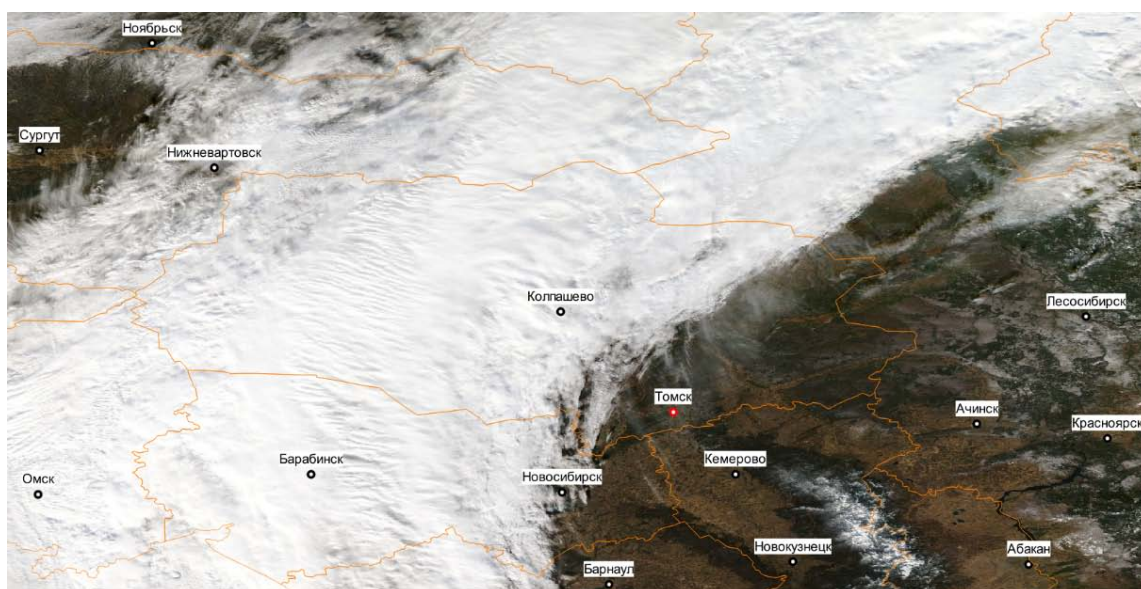


Рис. 2. RGB-изображение фронтальной облачной системы, с которой было связано ОЯ «Шквал», по данным Aqua MODIS за 7:05 UTC 28.10.2018 г. [3].

В ночь с 28 на 29 октября над г. Томск прошёл холодный фронт. В результате – воздушная масса резко изменилась с тропической на арктическую. С фронтальной облачной системой, представленной, главным образом, кучево-дождевыми облаками, были связаны сильные шквалы и осадки в виде ливневого дождя, переходящего в снег. Динамика метеопроцессов в приземном слое атмосферы до и во время ОЯ «Шквал» в конце октября 2018 г. представлена на рис. 3.

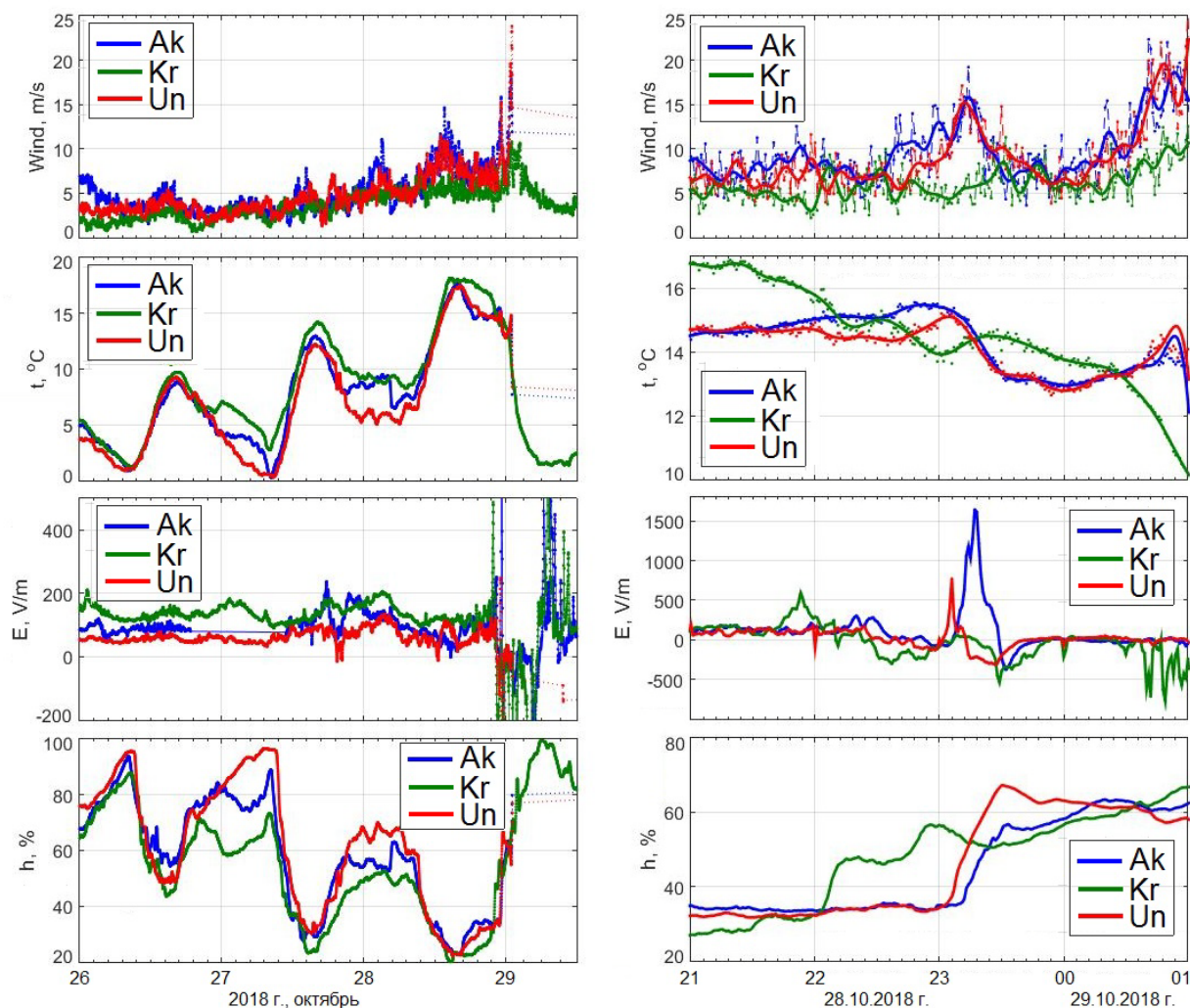


Рис. 3. Вариации горизонтальной скорости ветра ($V_{\max}$), температуры воздуха (t), градиента потенциала электрического поля ($\nabla\varphi = -E$), относительной влажности (h) за период с 26 по 29.10.2018 г. (панели слева) и непосредственно во время шквала (панели справа) в пунктах: р. Обь (Киреевск, Kr), р. Томь (корпус № 6 ТГУ, Un), академгородок (ИМКЭС СО РАН, Ak). Эти ТАА-01 расположены практически на одной прямой, расстояния между ними различаются в ~ 10 раз.

Температура воздуха в период, предшествующий возникновению данного ОЯ достигла аномально высоких значений. Так, в 15 ч по местному времени температура достигла 18°C , что, согласно [6], практически соответствует норме июля для г. Томска и превышает среднюю температуру октября более чем на 16°C . Относительная влажность в этот период, наоборот, опустившись до аномально низкого значения $\sim 20\%$, что практически соответствует средней влажности в пустыне Сахара [6]. В динамике компонент ветра и турбулентных потоков зарегистрированы волны с периодом ~ 12 ч, которые нельзя объяснить суточными изменениями и которые, предположительно, связаны с волновыми движениями в атмосфере при подходе атмосферного фронта. Непосредственно перед прохождением приземной линии холодного фронта в пунктах мониторинга наблюдаются медленные вариации градиента потенциала $\nabla\varphi$, характерные для кучево-дождевых облаков [7]. С небольшим запаздыванием относительно роста $\nabla\varphi$ отмечается серия резких усиления компонент скорости и турбулентных потоков, обусловленные шквалами, вызвавшими ОЯ.

Понижение температуры приземной атмосферы до опасных значений

Формирование антициклонического режима погоды над территорией Сибири зимой тесно связано с взаимодействием антициклона, образующегося в Карском море и перемещающегося в южном направлении, с Сибирским антициклоном (Азиатский максимум). Установление при этом сильных морозов, когда минимальная температура воздуха -40°C и ниже в течение 3 суток и более, характеризуется как опасное метеорологическое явление [2]. К сопровождающим его

неблагоприятным явлением относится образование, при значительном понижении температуры, ледяных туманов, которые оказывают негативное влияние на оптические свойства атмосферы [8]. В населенных пунктах ледяные туманы возникают из-за дополнительного поступления в атмосферу аэрозольных частиц и влаги в результате сжигания топлива отопительными системами и автомобилями.

За анализируемый промежуток (холодный период 2018–2019 гг.) было зарегистрировано три случая вторжения арктических воздушных масс, приведшие к существенному понижению температуры: с 3 по 9 декабря 2018 г.; с 21.12.2018 г. по 2.01.2019 г. и с 28.01 по 10.02.2019 г. Во всех этих случаях метеорологические условия определяли антициклоны, образовавшиеся в Карском море и перемещающиеся в южном направлении в сторону Сибирского антициклона (Азиатского максимума). Наиболее продолжительным из них был последний. При этом наблюдалось постепенное отступление Сибирского антициклона к востоку, что способствовало подходу арктического основного фронта, разделяющего арктические и умеренные воздушные массы. Адвективный перенос в западной части антициклона способствовал закачиванию арктического воздуха на юго-восток Западной Сибири. По мере приближения центра антициклона происходило рассеяние облачности, что дополнительно способствовало выхолаживанию приземного воздуха. Результаты многопунктовой регистрации реакции приземной атмосферы на вторжение холодных арктических масс представлены на рис. 4. Для удаления суточных вариаций часть приведенных данных сглажена фильтром.

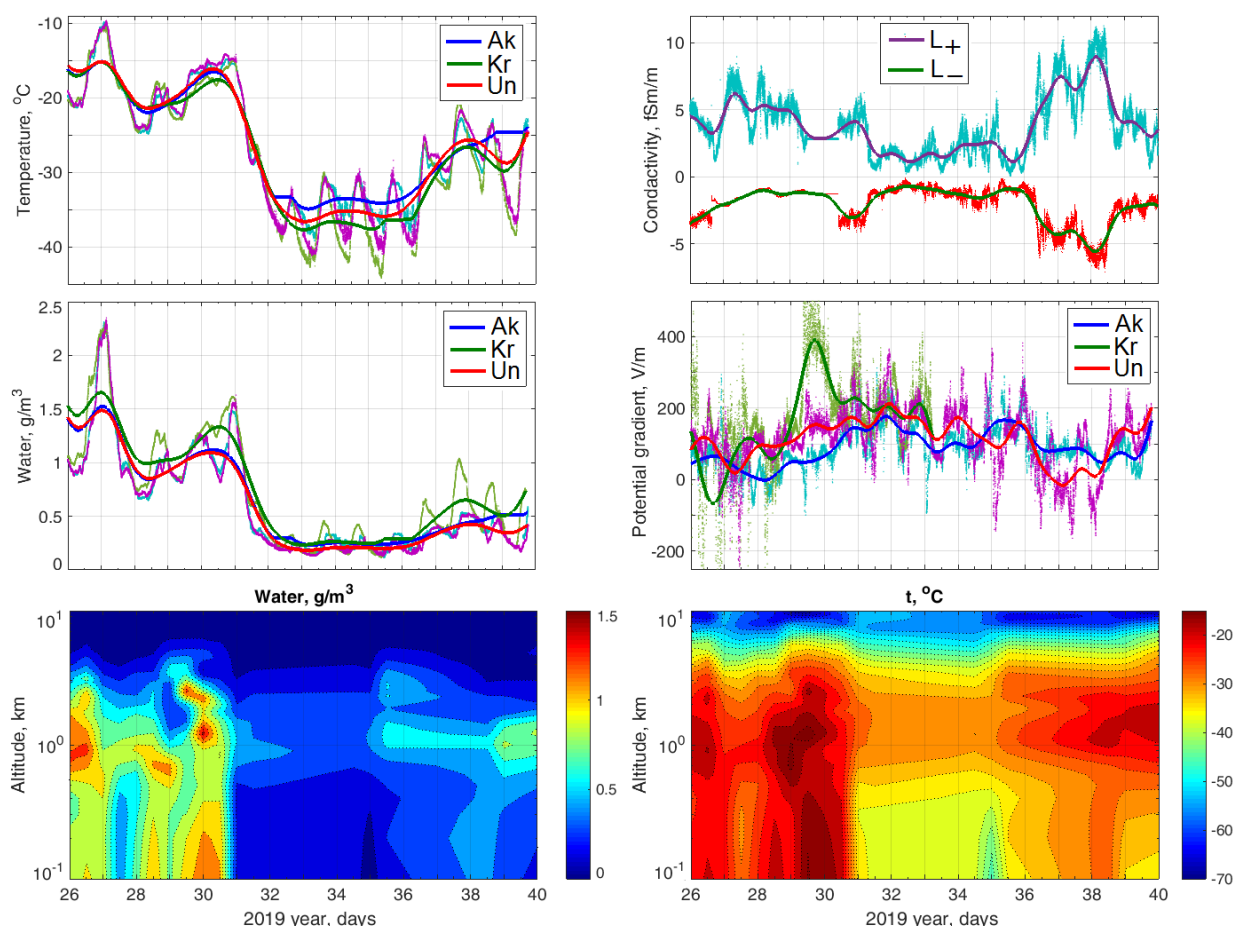


Рис. 4. Временной ход метеорологических и атмосферно-электрических величин с 26.01.2019 г. по 09.02.2019 г. в пунктах: р. Обь (Киреевск, Kr), р. Томь (корпус № 6 ТГУ, Un), академгородок (ИМКЭС СО РАН, Ak). На нижних панелях – вертикальные разрезы абсолютной влажности (слева) и температуры (справа) по данным аэрологического зондирования (г. Колпашево).

Плавное понижение температуры до $\sim -40^{\circ}\text{C}$ и ниже приводит к образованию ледяного тумана, ограничению дальности видимости и практически полному удалению влаги из атмосферы. Удаление влаги из атмосферы связано, по-видимому, со спонтанной кристаллизацией, которая при $t \sim -39 \div -41^{\circ}\text{C}$ значительно ускоряется. Анализ данных показал, что при понижении температуры и образовании тумана уровень градиента потенциала вначале возрастает, а затем начинает

уменьшаться. Значения полярных электропроводностей $L_{\pm}$ уменьшаются. По-видимому, ключевая роль принадлежит процессам, регулирующим сток легких ионов на аэрозоль [9, 10], что обеспечивает изменение электропроводности приземного слоя и, следовательно, напряженность электрического поля E .

Понижение температуры воздуха до ~ -40 °С и ниже приводит к образованию ледяного тумана и практически полному удалению водяного пара из атмосферы. Удаление водяного пара из атмосферы связано, по-видимому, со спонтанной кристаллизацией и сублимацией, которые при температуре $-39 \div -41$ °С значительно ускоряются. Анализ данных показал, что при понижении температуры и образовании ледяного тумана значения градиента потенциала электрического поля вначале быстро возрастают, а затем уменьшаются. При этом значения $L_{\pm}$ сильно уменьшаются. Ранее в г. Томске был зарегистрирован другой вариант развития электрических процессов в приземном слое, наблюдающийся при температурах воздуха до $-20 \div -30$ °С, при котором значения $\nabla\varphi$ возрастают, а значения $L_{\pm}$ падают до минимальных значений [11].

Заключение

Проведены испытания в мониторинговом режиме пилотного образца системы метеорологического мониторинга, на основании которых:

а) выявлены условия образования ОЯ «Шквал», зарегистрированного поздней осенью в г. Томске, и отмечены специфические особенности динамики метеорологических величин до и во время этого ОЯ;

б) в случае сильных морозов предположено, что ключевая роль в изменениях атмосферно-электрического состояния приземной атмосферы принадлежит процессам, регулирующим сток легких ионов на аэрозоль, которые приводят к согласованному изменению электропроводностей и напряженности электрического поля.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России, ФЦП ИР (соглашение № 14.607.21.0205, уникальный идентификатор ПНИ RFMEFI60718X0205).

Список литературы

1. Логинов С.В., Морару Е.И., Харюткина Е.В. Связь ячеек тропосферной циркуляции с изменчивостью меридиональных потоков тепла над территорией Сибири // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29. № 08. С. 640–646.
2. ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС». Перечень опасных явлений [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo-nso.ru/pages/115>.
3. Гидрометцентр России. Синоптические карты с фронтальным анализом [Электронный ресурс]. URL: <https://meteoinfo.ru/mapsynop>.
4. Шметер С. М. Термодинамика и физика конвективных облаков. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 287 с.
5. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. М.: ФГБУ НИЦ «Планета», 2014. 58 с.
6. Погода и климат. Климат мира [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/>
7. Pustovalov K.N., Nagorskiy P.M. Response in the surface atmospheric electric field to the passage of isolated air mass cumulonimbus clouds // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2018. V. 172. P. 33–39.
8. Пхалагов Ю.А., Ужегов В.Н., Полькин В.В. и др. Исследования изменчивости и взаимосвязи оптических и электрических характеристик приземной атмосферы в зимних условиях // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24. № 4. С. 269–274.
9. Морозов В.Н., Куновых Г.В. Теория электрических явлений в атмосфере. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic publishing, 2012. 330 с.
10. Ивлев Л.С., Довгальюк Ю.А. Физика атмосферных аэрозольных систем. С.-Пб.: НИИХ СПбГУ, 1999. 194 с.
11. Kozlov V.I., Morozov V.N., Nagorskiy P.M., Pustovalov K.N., Toropov A.A. Anomalous behavior of the electric field of the atmosphere at the extremely low winter temperatures // Proc. SPIE. 2018. V. 10833. P. 108338O-1–108338O-4.