



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

**Нагорский П.М., Корольков В.А., Кобзев А.А.,  
Капустин С.Н., Кабанов М.М., Пустовалов К.Н.,  
Смирнов С.В., Тельминов А.Е.**



# Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН

Основные научные направления:

Научные и технологические основы мониторинга и моделирования климатических и экосистемных изменений под воздействием природных и антропогенных факторов.

Научные основы создания новых приборов, элементов и материалов для контроля окружающей среды.



# Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН

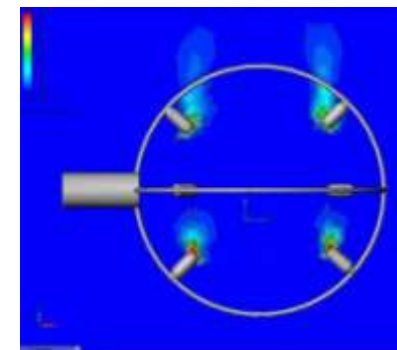
## Инструментальные средства и технологии экологического мониторинга

1. Контроль состава многокомпонентных газовых смесей.
2. Автоматизированные ультразвуковые метеокомплексы и системы автономного мониторинга метеорологической ситуации.
3. Приборы для инженерной геофизики, контроля геодинамических процессов и сейсмической ситуации.



# Базовый вариант ультразвукового метеорологического комплекса АМК-03

Измерение мгновенных и средних значений основных метеорологических величин: скорости и направления ветра, температуры и влажности воздуха, атмосферного давления







# Мобильные модификации метеокомплекса





# Расширение функциональных возможностей метеокомплекса + автономные измерители параметров

- ✓ профили температуры и влажности грунта;
- ✓ атмосферные осадки;
- ✓ характеристики снегового покрова;
- ✓ параметры солнечной радиации;
- ✓ высота и балл облачности;
- ✓ уровень воды в водоёмах и грунте;
- ✓ ... и пр.







# Технологии ОНЧ-мониторинга литосферных структур и аномальных процессов

Разработан новый электромагнитный метод выделения геофизических структур и контроля геодинамических процессов по радиошумам в ОНЧ диапазоне с помощью многоканального геофизического регистратора МГР-01 (Гос. реестр РФ «Средства измерения» №31892-06 от 22.06.06 г.).



Регистратор «МГР-01»



Размещение станций МГР-01 – апрель 2014



## Газопровод на г. Петропавловск- Камчатский

Магистральный газопровод  
«УКПГ-2 Нижне-Кванчинского  
ГКМ – АГРС  
г. Петропавловска-Камчатского»  
(август 2012 г.)

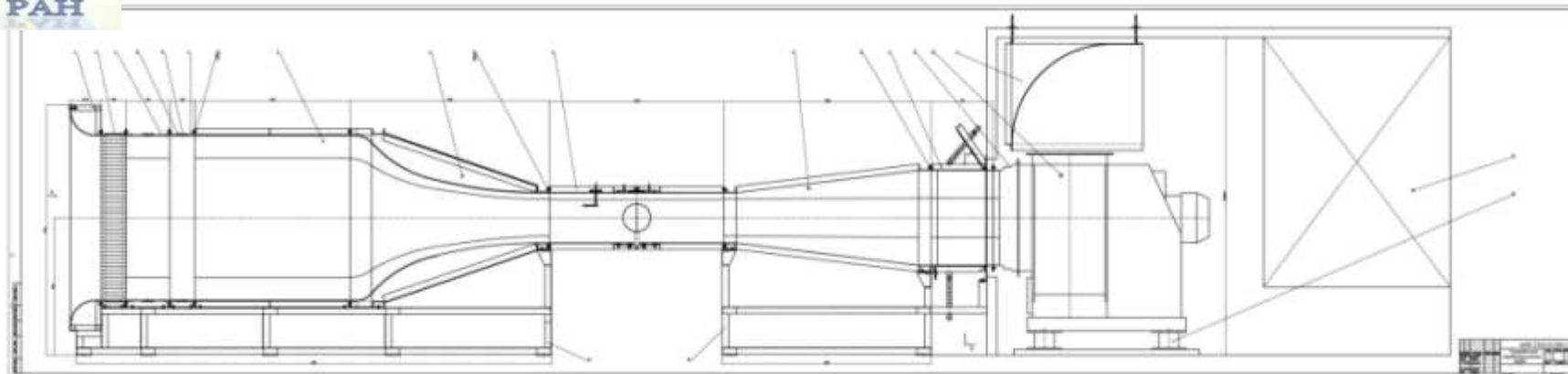
Проведены натурные  
полевые исследования  
активных геодинамических  
процессов в земной коре  
радиоволновыми методами и  
методом газовой эманаии.

## Технологии ОНЧ-мониторинга литосферных структур и аномальных процессов





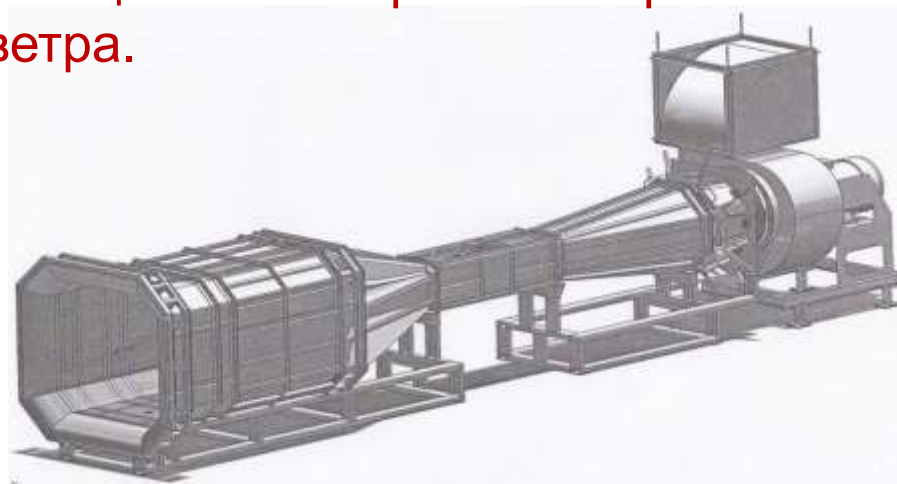
# Аэродинамическая труба



## Технические характеристики:

- рабочий диапазон скоростей воздушного потока в трубе от 0,5 до 60 м/с;
- погрешность задания скорости воздушного потока  $\pm 0,25$  м/с от устанавливаемого номинального значения;
- дискретность регулировки скорости воздушного потока 5 м/с;
- длина рабочей зоны 2500 мм;
- сечение рабочей зоны  $\varnothing 400$  мм.

Предназначена для выполнения калибровки и лабораторных испытаний метеорологических станций по измерению скорости ветра.





## Климатические камеры



Камера тепла и  
влаги KTK-800

Камера тепла и  
влаги КТХВ-1000



Термобарокамера  
TBV-1000

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.

*«Разработка и создание автоматической гидрометеорологической станции арктического исполнения для труднодоступных территорий и Северного морского коридора (АрктикМетеоБот)», проект ФЦП.*

Цели проекта:

- предоставление новых и эффективных методов и средств проведения исследований в области практической метеорологии и физики атмосферы для регионов с климатическими условиями Арктики;
- получение научных результатов в области методов и средств мониторинга окружающей среды, позволяющих переходить к созданию новых видов научно-технической продукции – приборов, комплексов и систем для контроля метеорологических условий в условиях Арктики и Антарктики;
- вывод на рынок новой научно-технической продукции, разработка технологий для решения задачи метеорологического мониторинга в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации;
- обеспечение экспортного потенциала и замещение импорта метеооборудования в экстремальных низкотемпературных природно-климатических условиях.

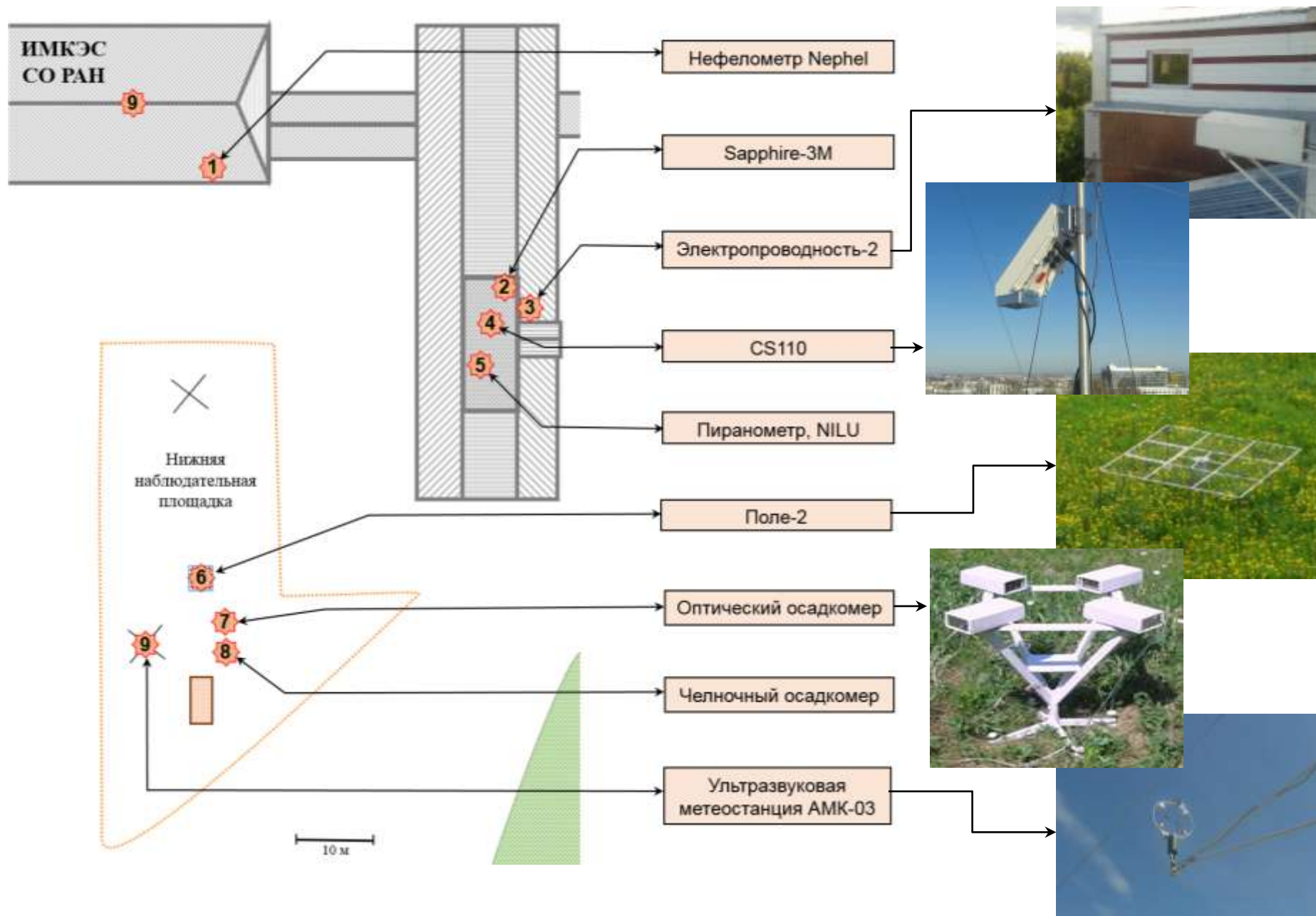


## *Цель доклада*

Анализ атмосферных условий, обусловивших возникновение опасных природных явлений (ОЯ) «Шквал» и «Сильный Мороз» и 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. Система является пилотным образцом системы метеорологического мониторинга, созданием которых занимается ИМКЭС СО РАН совместно с ООО «Сибаналитприбор».

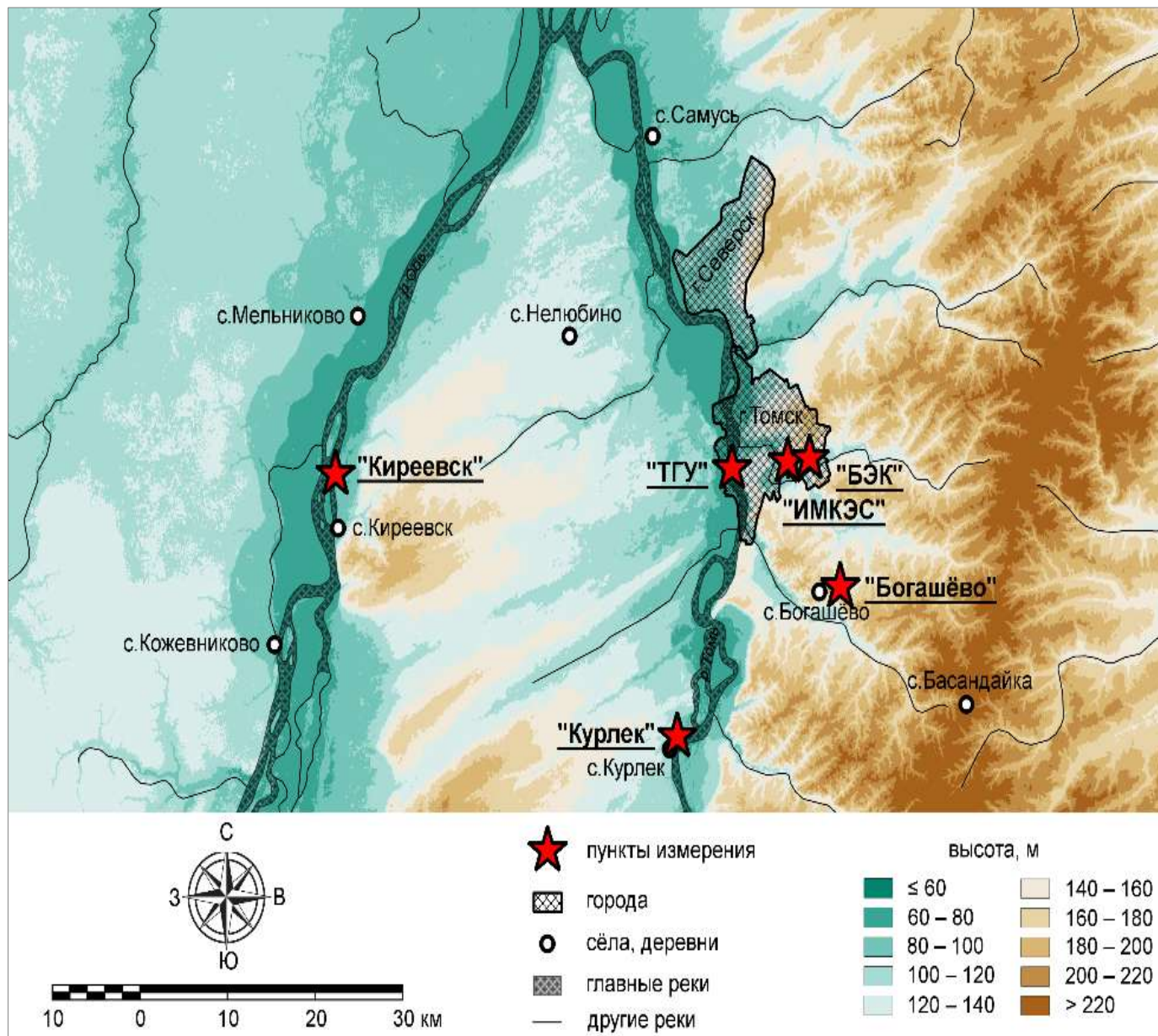
Проведена опытная многопунктовая регистрация основных метеовеличин и параметров турбулентности, а также напряженности поля и электропроводности атмосферы. В состав системы входит измерительная сеть, состоящая из 6 пунктов, сервер сбора, обработки и передачи данных. Измерительная сеть оснащена автоматическими метеостанциями ТАА-01, измеряющими широкий спектр метеорологических и турбулентных величин, оптическими осадкомерами ОПТИОС, датчиками напряжённости электрического поля EFS-2/50. Данные мониторинга дополнены данными метеостанций г. Томска, г. Колпашево, с. Кожевниково, данными аэрологического зондирования (г. Колпашево) и данными инструментов AVHRR и MODIS спутников «NOAA», «AQUA» и «TERRA».

# Измерительный комплекс









Расположение основного и выносных измерительных пунктов  
ИМКЭС СО РАН

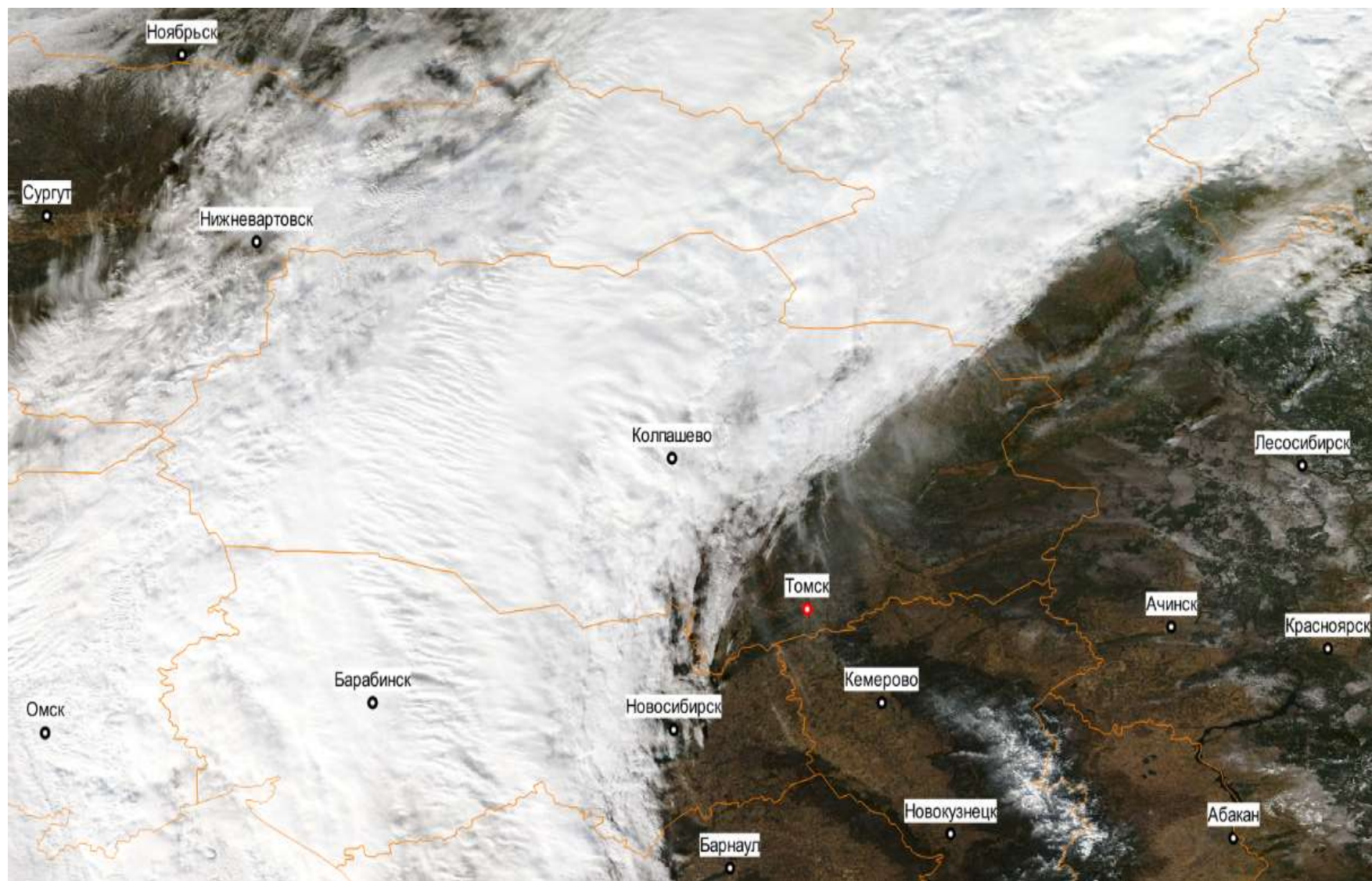
## *Шквал 28 – 29 октября 2018 г.*

В этот период были зарегистрированы, скорость ветра в которых превысила порог ОЯ «Шквал». Условия, предшествующие событию: с 24 на 25 октября над юго-востоком Западной Сибири, находящимся в арктической воздушной массе, прошёл тёплый фронт циклона, в результате воздушная масса изменилась на умеренную. К 27 октября арктический фронт над Сибирью вытянулся на север, 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, а в период с 10 до 12 ч по местному времени над г. Томском прошёл тёплый фронт. Адвекция тепла с юга привела к быстрому росту температуры воздуха. Однако, 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.

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.





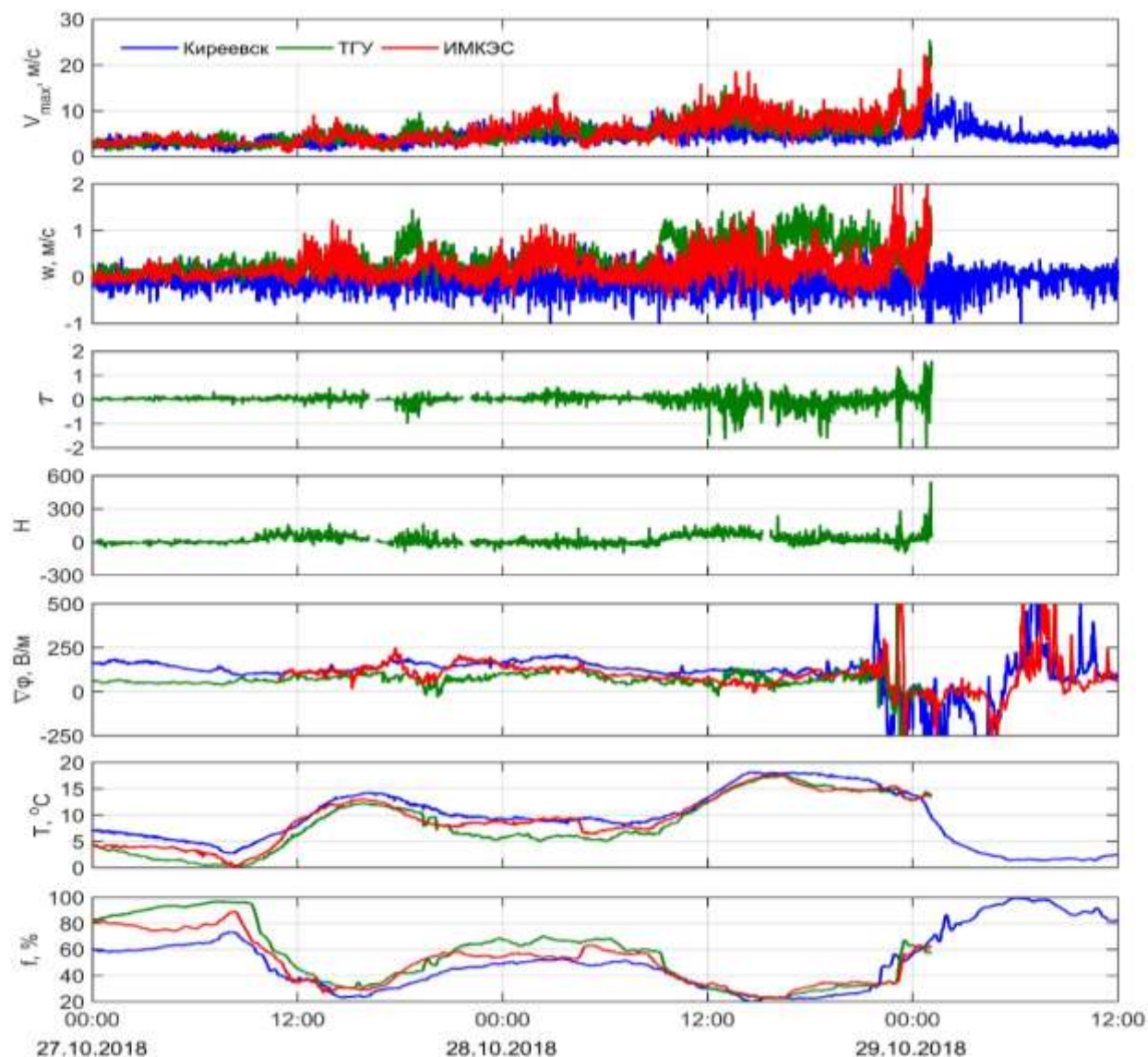
RGB-изображение фронтальной облачной системы, с которой было связано ОЯ «Шквал», по данным Aqua MODIS за 7:05 UTC 28.10.2018 г.



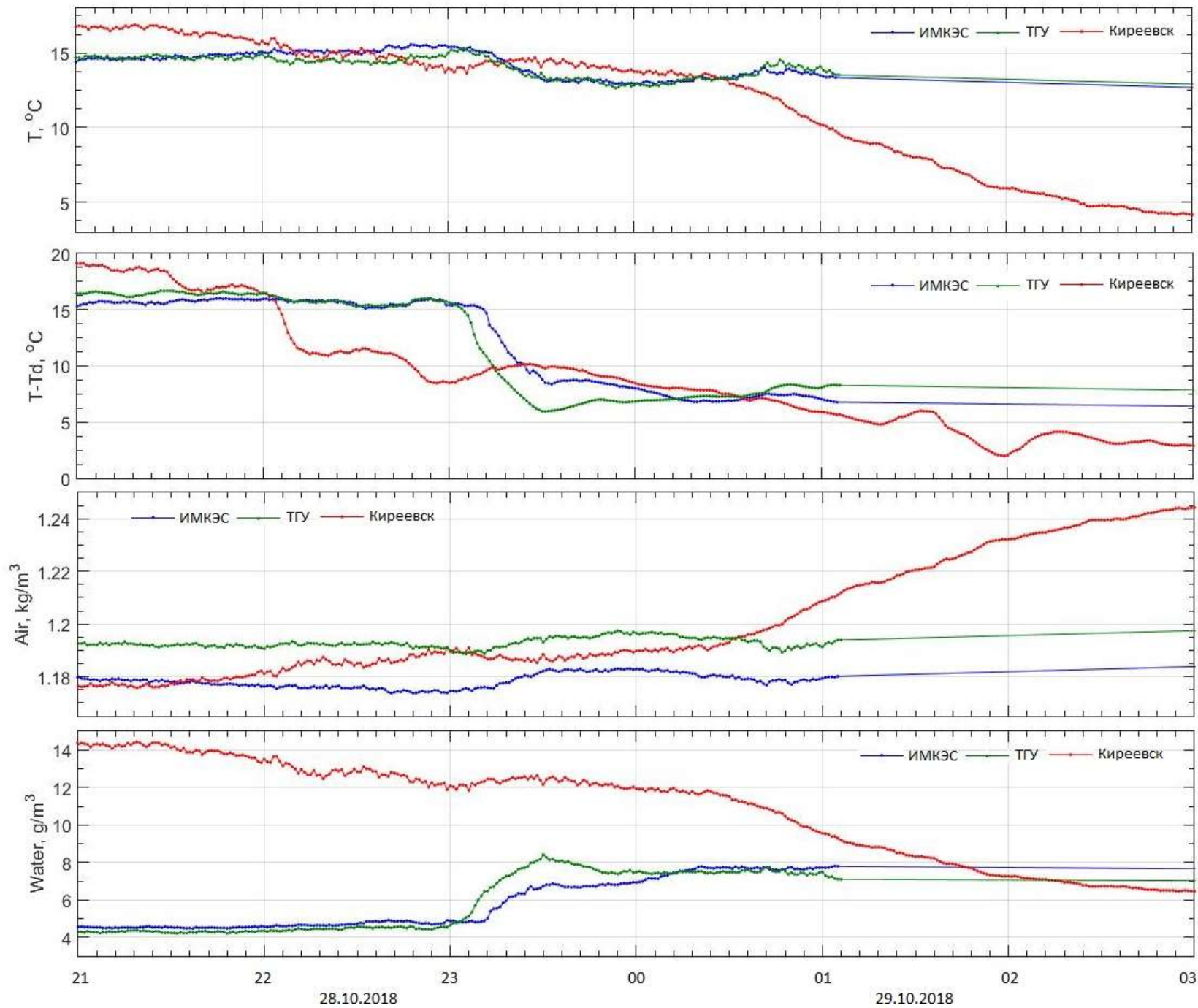
Температура воздуха в период, предшествующий возникновению шквала, достигла аномально высоких значений: в 15 ч по местному времени температура достигла 18 °С, что соответствует норме июля для г. Томска и превышает среднюю температуру октября более чем на 16 °С. Относительная влажность в этот период опустилась до аномально низкого значения ~ 20 %, что практически соответствует средней влажности в пустыне Сахара.

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. Подобные вариации, обусловленные изменением концентрации аэрозоля, прослеживаются также в динамике  $\nabla\varphi$ .

Непосредственно перед прохождением приземной линии холодного фронта в пунктах мониторинга наблюдаются медленные вариации градиента потенциала, характерные для кучево-дождевых облаков. С небольшим запаздыванием относительно роста  $\nabla\varphi$  отмечается серия резких усилений компонент скорости и турбулентных потоков, обусловленные шквалами, вызвавшими ОЯ.

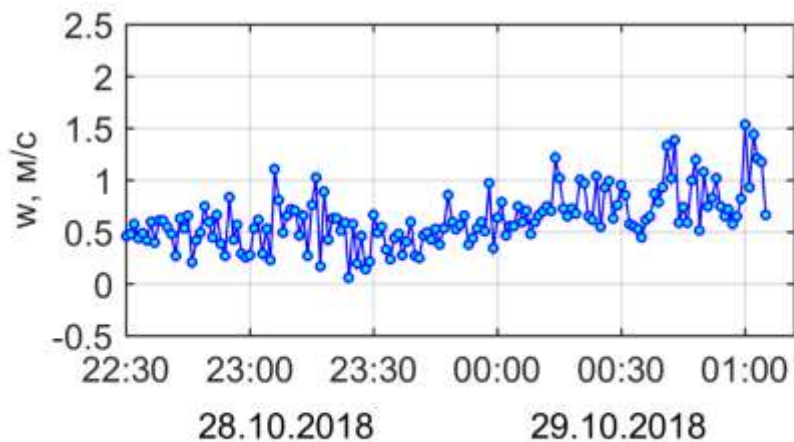
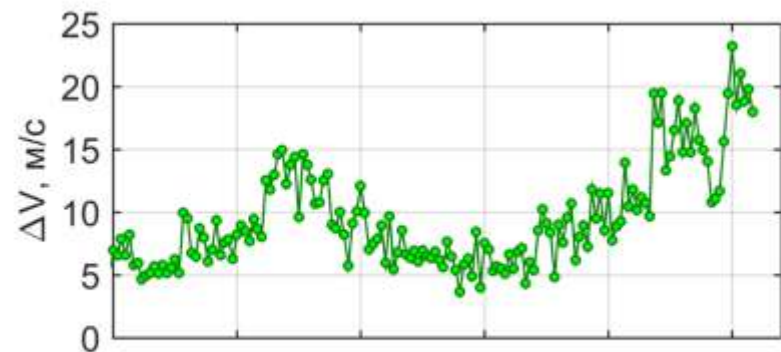
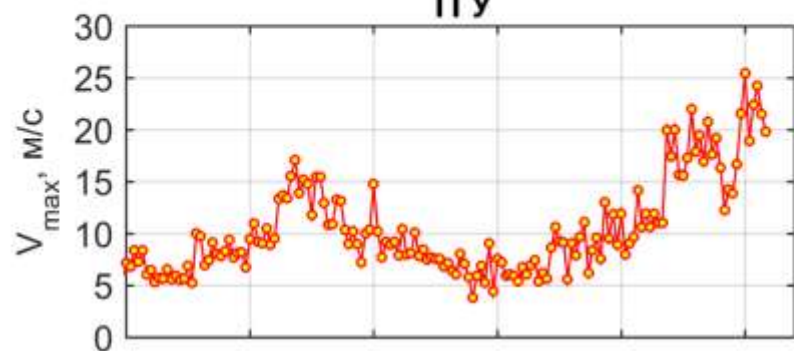


Вариации горизонтальной ( $V_{max}$ ) и вертикальной ( $w$ ) скорости ветра, турбулентных потоков импульса ( $\tau$ ) и тепла ( $H$ ), градиента потенциала электрического поля ( $\nabla\phi$ ), температуры воздуха ( $T$ ) и относительной влажности ( $f$ ) за с 27–29.10.2018 г. по данным ГО ИМКЭС СО РАН. Разрыв в записи связан с аварией на электросетях.

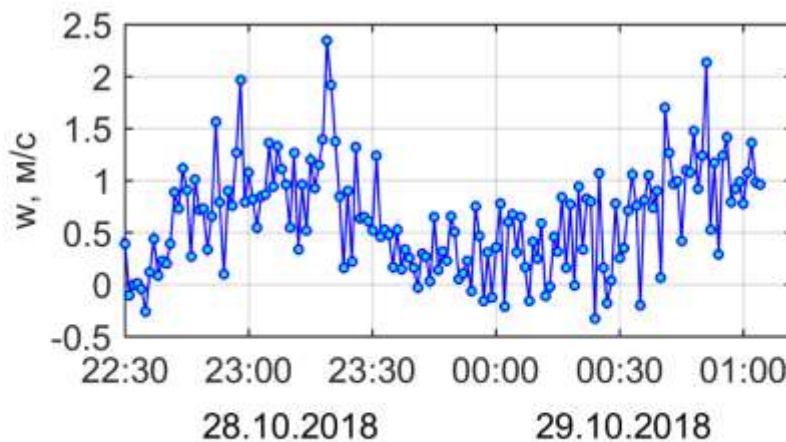
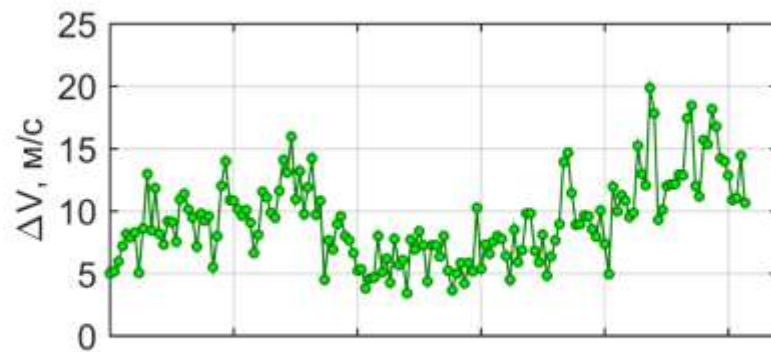
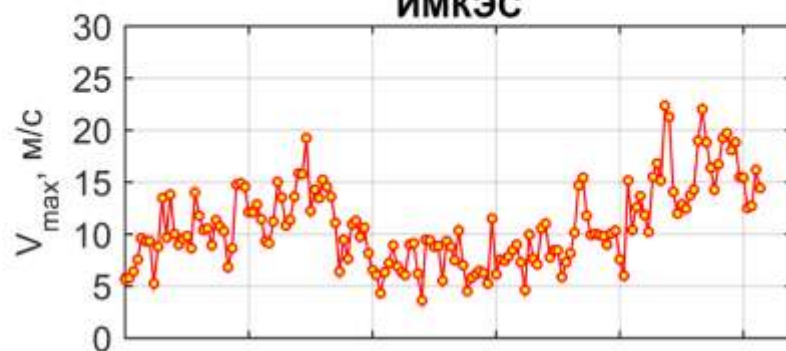


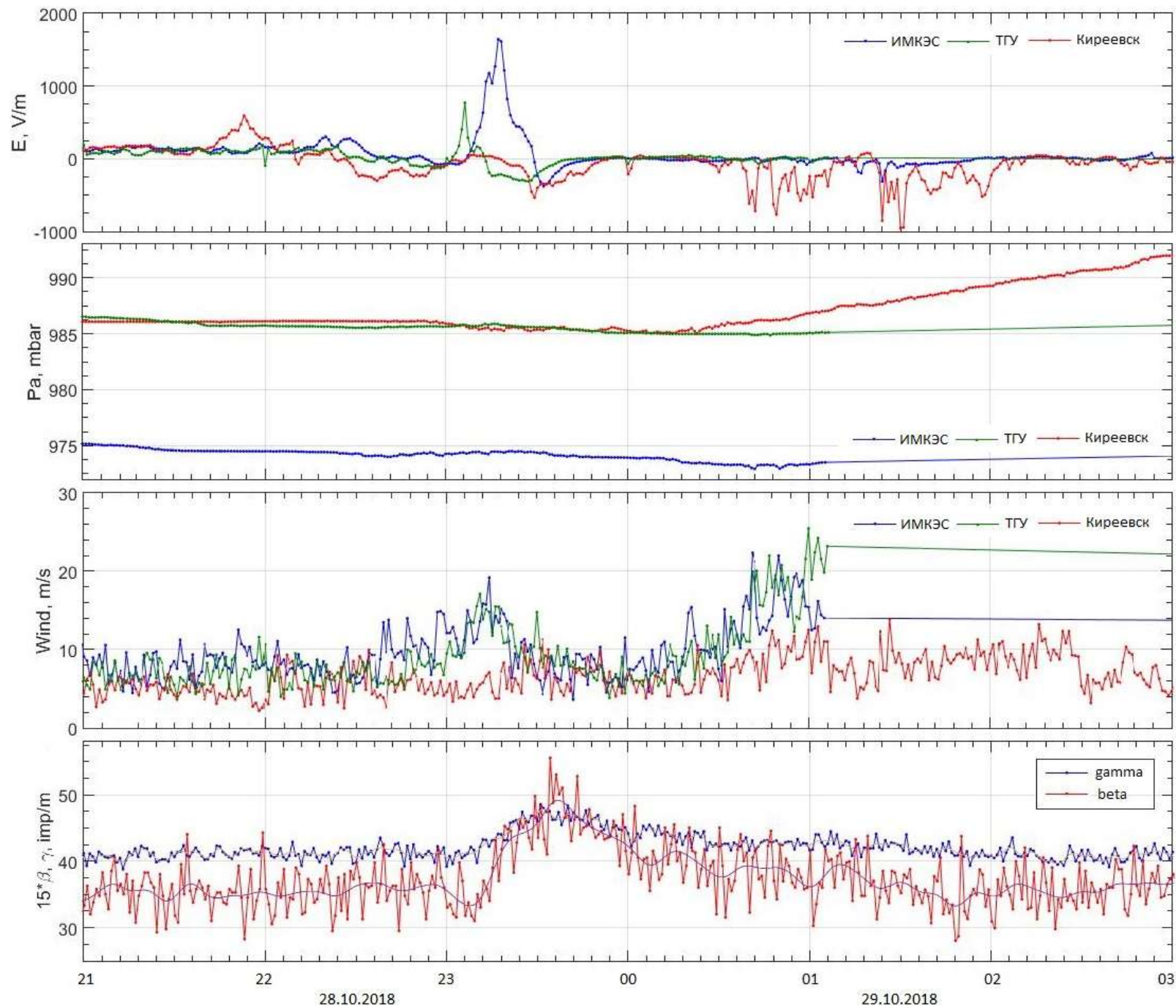


ТГУ



ИМКЭС





## *Экстремально-низкие температуры*

Формирование антициклонического режима погоды над территорией Западной 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  $-40^{\circ}\text{C}$  и ниже в течение 3 суток и более, характеризуется как опасное метеорологическое явление.

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



В 2018–2019 гг. было зарегистрировано три вторжения арктических воздушных масс, приведшие к существенному понижению температуры:

3-9.12.2018 г.;

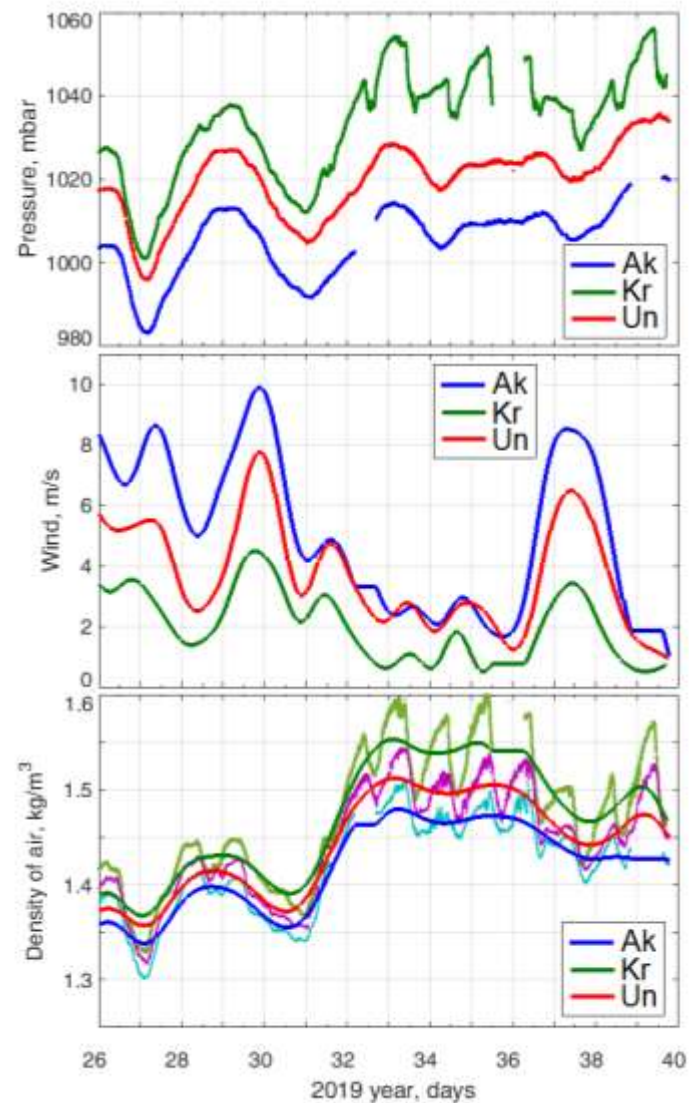
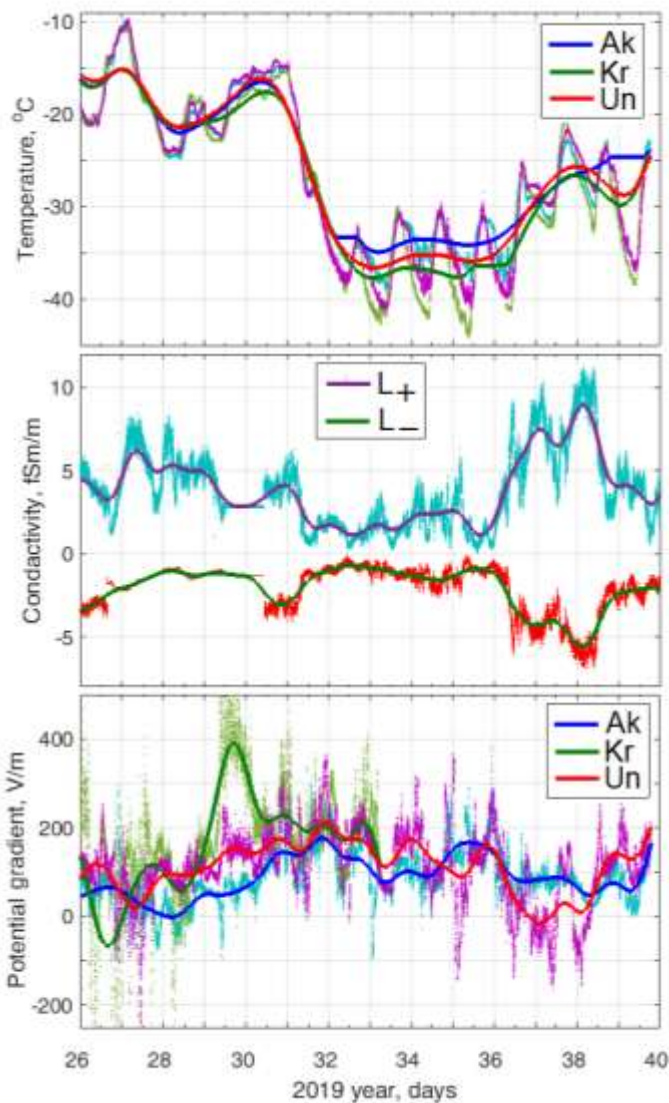
с 21.12.2018 г. по 2.01.2019 г.

с 28.01 по 10.02.2019 г.

Во всех случаях метеоусловия определяли антициклоны в Карском море, перемещающиеся в южном направлении в сторону Сибирского антициклона (Азиатского максимума. Наблюдалось отступление Сибирского антициклона к востоку, что способствовало подходу арктического фронта, разделяющего арктические и умеренные воздушные массы.

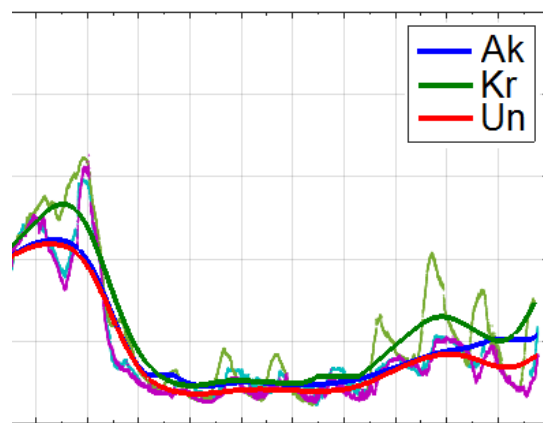
Адвективный перенос в западной части антициклона способствовал закачиванию арктического воздуха на юго-восток Западной Сибири. По мере приближения центра антициклона происходило рассеяние облачности, что дополнительно способствовало выхолаживанию приземного воздуха.

Результаты многопунктовой регистрации реакции приземной атмосферы на вторжение холодных арктических масс представлены на слайдах далее.

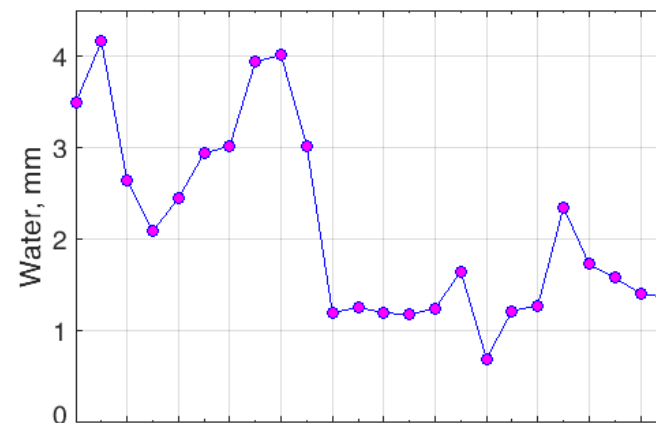


Слева – температура  $t$ , °C; полярные электропроводности ( $L_+$ ,  $L_-$ ); градиент потенциала  $\nabla\phi = -E$  электрического поля; справа - давление; скорость ветра; плотность воздуха (сверху - вниз).

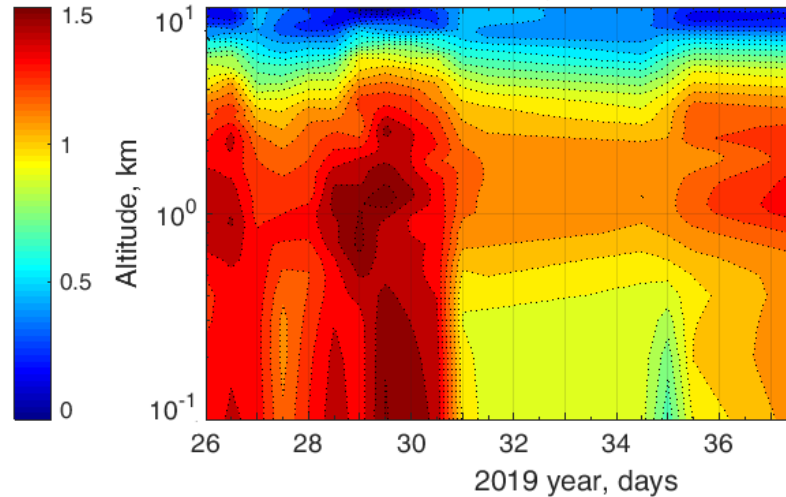
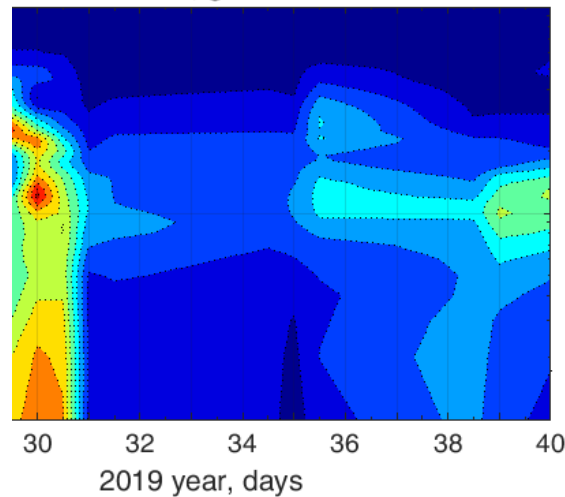
Ak, Un, Kr - ИМКЭС СО РАН; ТГУ, р. Томь; с. Киреевск, р. Обь.



Water, g/m<sup>3</sup>



t, °C



Слева — абсолютная влажность; вертикальный разрез абсолютной влажности (аэрологическое зондирование, г. Колпашево); справа - интегральная влажность и температурный разрез (г. Колпашево).

Ak, Un, Kr - ИМКЭС СО РАН; ТГУ, р. Томь; с. Киреевск, р. Обь.



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 архивным данным возможен иной вариант развития электрических процессов в приземном слое при понижении  $t$  до  $-20 \div -30^{\circ}\text{C}$ , когда величина  $E$  возрастает, а  $L_{\pm}$  падают до минимальных значений.

В обоих случаях, по-видимому, ключевая роль принадлежит процессам, регулирующим сток легких ионов на аэрозоль, что обеспечивает изменение электропроводности приземного слоя и напряженность электрического поля  $E$ .

## *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.



*Выполнено при финансовой  
поддержке*

*Минобрнауки России,  
ФЦП ИР (соглашение №  
14.607.21.0205,  
уникальный  
идентификатор ПНИ  
RFMEFI60718X0205)*

*Спасибо за внимание*

*Thank you for attention*