

Экспериментальные исследования аэрозоля в Крыму в 2018 - 2024 гг.

М.С. Артамонова¹, О.Г. Чхетиани¹, В.А. Лапченко², Л.О. Максименков¹, М.А. Иорданский¹

¹ Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, *Россия*

² Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского - природный заповедник РАН филиал
ФГБУН ФИЦ Института биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН, г. Феодосия,
республика Крым

artamonova@ifaran.ru

В рамках работ по гранту РФФИ № 20-17-00214-П «Ветровой и вихревой вынос и перенос
пылевого аэрозоля в атмосферном пограничном слое опустыненных и аридных зон»

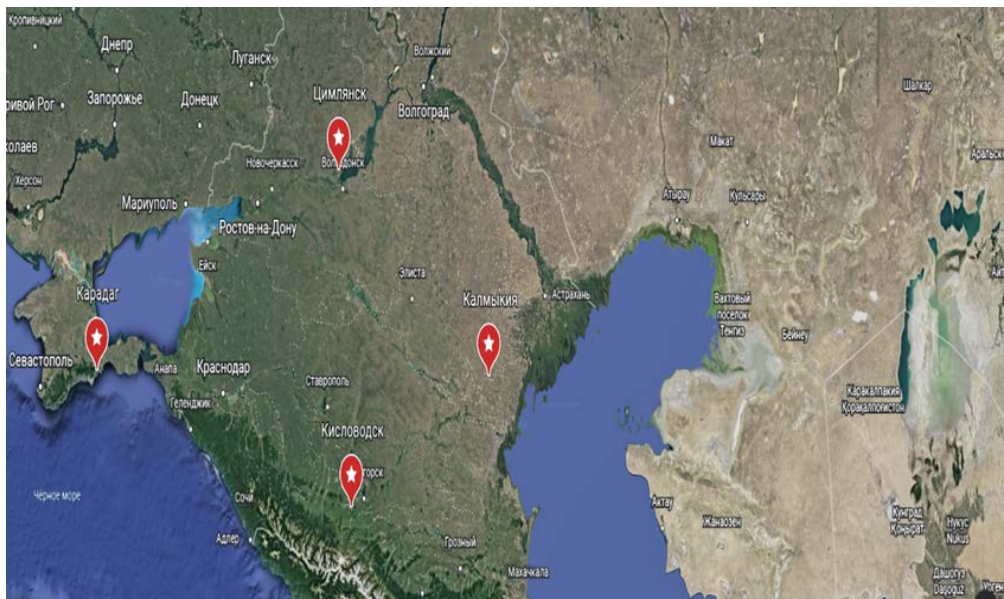
Москва, 20 ноября 2024

Приоритетное направление развития науки, технологий и техники в Российской Федерации, критическая технология

- Рациональное природопользование.
- Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения.
- **Глобальное потепление климата влечет за собой изменение многих процессов в атмосфере, гидросфере и литосфере, происходящих как по отдельности в каждой из них, так и при их взаимодействии между собой. Одним из таких процессов на границе атмосфера – литосфера является генерация и вынос пылевого аэрозоля с опустыненных и аридных территорий.** В свою очередь, пылевой аэрозоль влияет на радиационный режим атмосферы и на процессы облакообразования, т.е. оказывает прямое или косвенное воздействие на климат, что может вносить значительные неопределенности при его моделировании и прогнозировании.
- **Целью настоящего проекта являлось изучение проблемы количественного воздействия опустыненных и аридных регионов на загрязнение атмосферы вследствие эмиссии с подстилающей поверхности пылевых тонко- и среднедисперсных аэрозольных частиц.**

- **Генерация и вынос аэрозоля с опустыненных и аридных территорий обусловлены большим количеством факторов, в частности: большим градиентом температуры в приповерхностном слое атмосферы из-за радиационного нагрева подстилающей поверхности, турбулентностью, конвекцией, наличием когерентных структур в приземном слое, взаимодействием подстилающей поверхности с ветропесчаным потоком, электризацией ветропесчаного потока.**
- **Сведений о роли таких зон, как источника регионального и дальнего переноса загрязняющих примесей атмосферы в экологически более благополучные и курортные районы Европейской территории России, пока еще недостаточно.**
- **Проведенные долгосрочные натурные наблюдения аэрозоля в Крыму и на Кисловодской высокогорной научной станции позволяют выявить влияние трансграничного переноса на изменение параметров аэрозоля (фракционного и элементного состава, массовой и счетной концентрации) в этих регионах. Эти данные очень актуальны для курортных регионов Крыма и КМВ для составления медицинского прогноза погоды на курортах, а также позволяют совершенствовать используемые модели прогноза транспорта аэрозоля.**

Районы исследования эмиссии аэрозоля



Республика Калмыкия
Черноземельский район - п. Комсомольский – п. Нарын-Худук
летние измерительные компании **1995 - 2024 гг.**

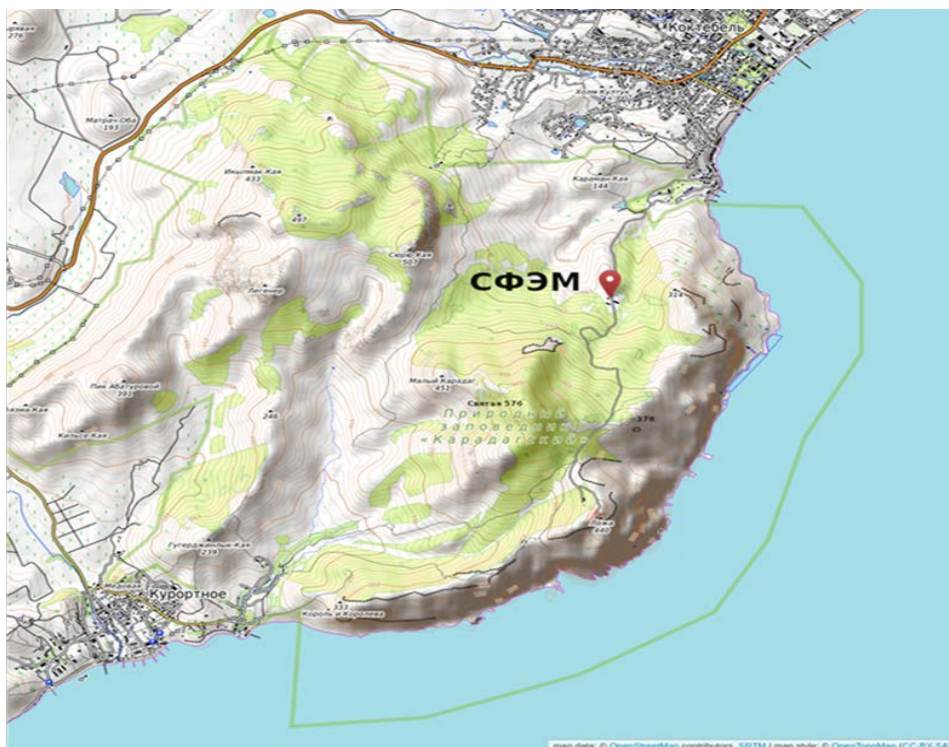
Ростовская область
Цимлянская научная станция ИФА
летние компании **2012 - 2024 гг. с 2023 г. мониторинг**
регистрация трансграничного переноса аэрозоля на юге России

регион КМВ
Кисловодская высокогорная научная станция ИФА:
плато Шатжатмаз, 2-е точки в г. Кисловодск
2004 - 2024 гг
маршрутные измерения:
Минеральные Воды, Кисловодск, Ессентуки, Лермонтов, Пятигорск
2006-2018 г.

Республика Крым
п. Кацивели, ЧГП Морского гидрофизического Института РАН;
г. Феодосия, мыс Илья;
СФЭМ Карадагский заповедник
2014 - 2016, 2018 - 2024 гг. с 2023 г. мониторинг

маршрутные измерения
регион Кавказских Минеральных Вод - Ростовская область
2021 г.

Расположение ключевых точек наблюдений в Крыму



Измерения проводились

Кацивели

ЛАС

2014 09.10- 23.10. - берег, 3.10.-23.10. –платформа

2015 09.06- 23.06. – берег, 12.06- 23.06- –платформа

Феодосия, мыс Ильи

ЛАС+ОЕАС

2016 25.05.-21.06.- берег, 25.05 -24.06. – мол в море

СФЭМ Карадагский заповедник ЛАС+ОЕАС+проб.

2018 24.09.- 31.12.

2019 01.01.- 18.06.

2020 21.03.- 17.06. ;10.10.- 31.12.

2021 01.01 - 16.09. ; 27.09.-15.11. импактор 27.09.-08.10.

2022 09.06. -30.06. ; 06.07. - 04.09.

2023 31.03. - 09.09. импактор 13.04. -09.09.

2024 07.06. - 02.10.

Точка отбора проб аэрозоля на Станции фонового экологического мониторинга (СФЭМ) в Карадагском заповеднике в Крыму

Запад



Восток

СФЭМ расположена на высоте 180 м над уровнем моря в горной долине, на северо-восточном склоне г. Святая (высота 577 м), в горной долине, которая протянулась от скалы Чертов палец до пос. Коктебель. Вдоль скалистой береговой линии следуют один за другим хребты - Магнитный (378 м) и Кок-Кая (314 м), которые прикрывают станцию от влияния бризовой циркуляции. На северо-западе от станции находится хребет Сюрю-Кая (507 м). На севере и востоке гор нет. Наименьшее расстояние от точки измерений до Черного моря, через хребет Кок-Кая - 1000 м. Расстояние до ближайшего промышленного центра (г. Керчь) более 100 км, до п. Коктебель 2,0 км., до г. Феодосия 20 км. С 2014 г. морские порты Феодосии не работают, город стал курортным.

Размещение станции, как фоновой, было согласовано в 2012 г. с Координационным Химическим Центром КХЦ (Норвегия) для участия в Международных программах сотрудничества по интегрированному мониторингу влияния загрязнения воздуха на экосистемы.

Площадки отбора проб аэрозоля в Крыму

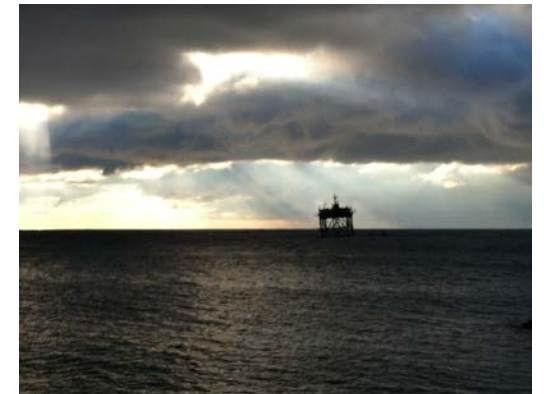
Феодосия (порт, мыс Илья, море)

СФЭМ в Карадагском заповеднике



п. Кацивели (берег, платформа)

Отбор проб аэрозоля проводился на высоте 2 м над уровнем поверхности земли. Измерялись параметры - счетная и массовая концентрацию аэрозоля, его дисперсный и элементный состав



Измерительный комплекс

Измерение счетной концентрации аэрозоля



9 каналный лазерный аэрозольный счетчик ЛАС-П с диапазоном регистрации аэрозольных частиц 0,15 - 1,5 мкм (НИФХИ им. Л.Я. Карпова)

9 каналный оптико-электрический аэрозольный счетчик ОЭАС с диапазоном регистрации аэрозольных частиц 0,2 – 5,0 мкм (НИФХИ им. Л.Я. Карпова)

Ноутбук, обеспечивающий работу аэрозольных счетчиков и запись данных в автономном мониторинговом режиме

Пробоотборный комплекс для определения массовой концентрации аэрозоля и его элементного состава



Аспирационный пробоотборник с прокачкой воздуха 240 л/мин. на аналитические фильтры АФА-ХА 20. **Газовый счетчик** для учета объема прокачиваемого воздуха

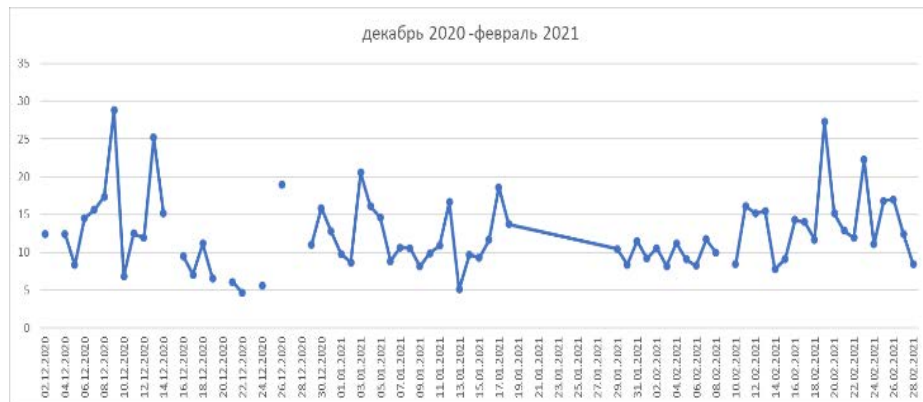
6-каскадный импактор: диапазон регистрации частиц 0,5 – 6,5 мкм аналитические фильтры АФА-ХА

Метеостанция «Тропосфера»



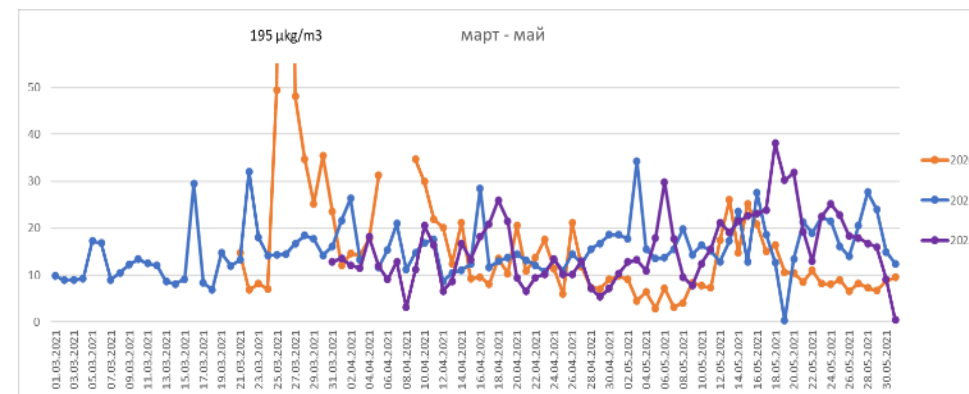
Массовая концентрация минерального аэрозоля для различных сезонов года 2020-2024 гг. (по фильтрам)

зима



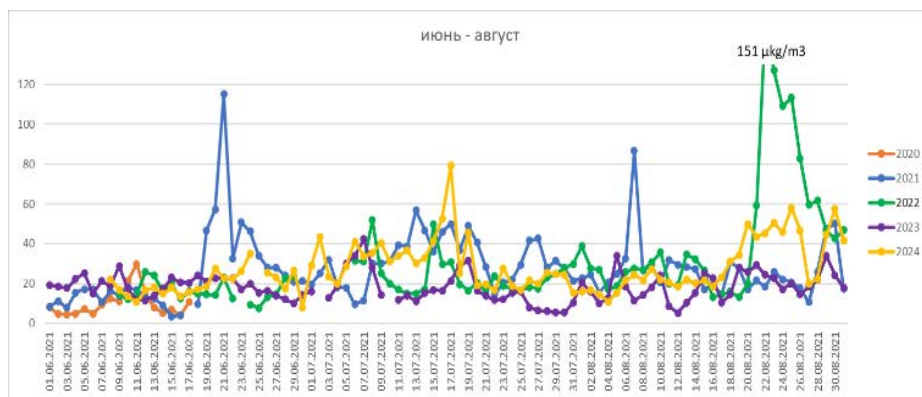
$C_{\max} = 29 \text{ мкг/м}^3$ $C_{\min} = 4 \text{ мкг/м}^3$

весна



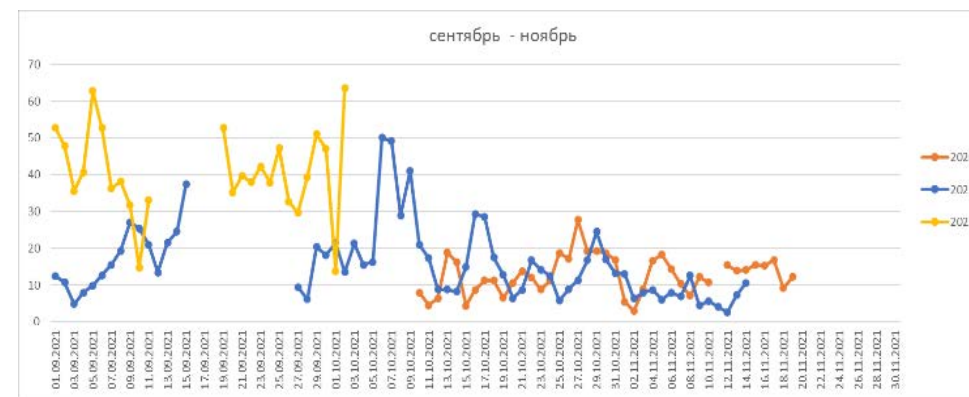
$C_{\max} = 195 \text{ (2020), } 40 \text{ (2023)}$ $C_{\min} = 3$

лето



$C_{\max} = 151 \text{ (2022), } 119 \text{ (2021), } 80 \text{ (2024)}$ $C_{\min} = 3$

осень

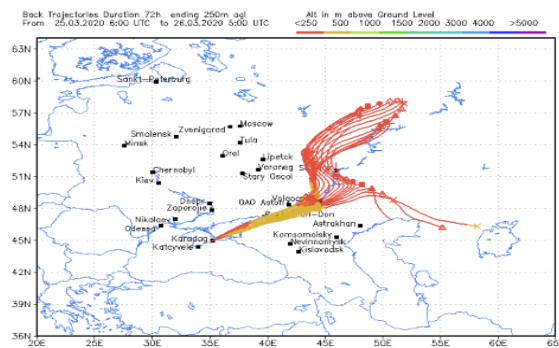


$C_{\max} = 66 \text{ (2024), } 50 \text{ (2021), } 30 \text{ (2020)}$ $C_{\min} = 3$

Трехдневные обратные траектории прихода воздушных масс в точку измерений на СФЭМ

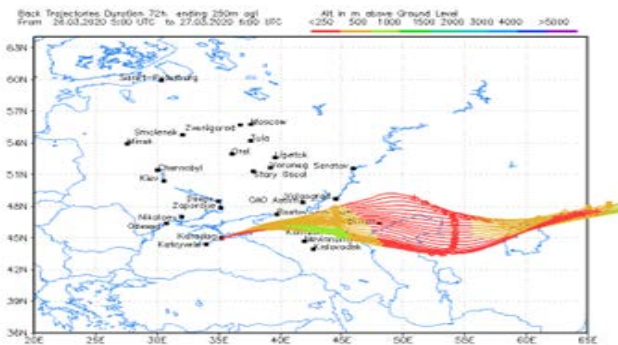
Пыльная буря на Арале 23-26 марта 2020 г.

восток 3 пробы



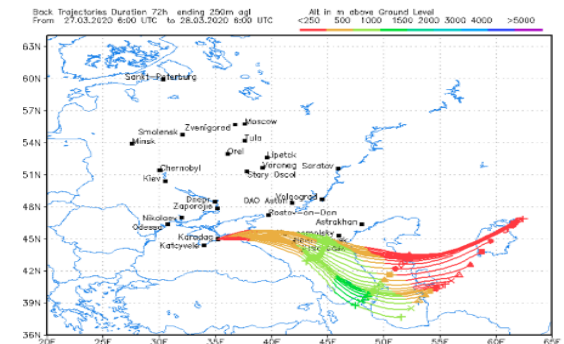
25.03-26.03.20 $C_m = 49 \text{ мкг/м}^3$

$\text{Ca} > \text{Na} > \text{S} > \text{Mg} > \text{Al} > \text{Fe} > \text{K} > \text{Sr}$



26.03-27.03.20 $C_m = 195 \text{ мкг/м}^3$

$\text{Ca} > \text{Na} > \text{S} > \text{Al} > \text{Mg} > \text{Fe} > \text{K} > \text{Sr}$



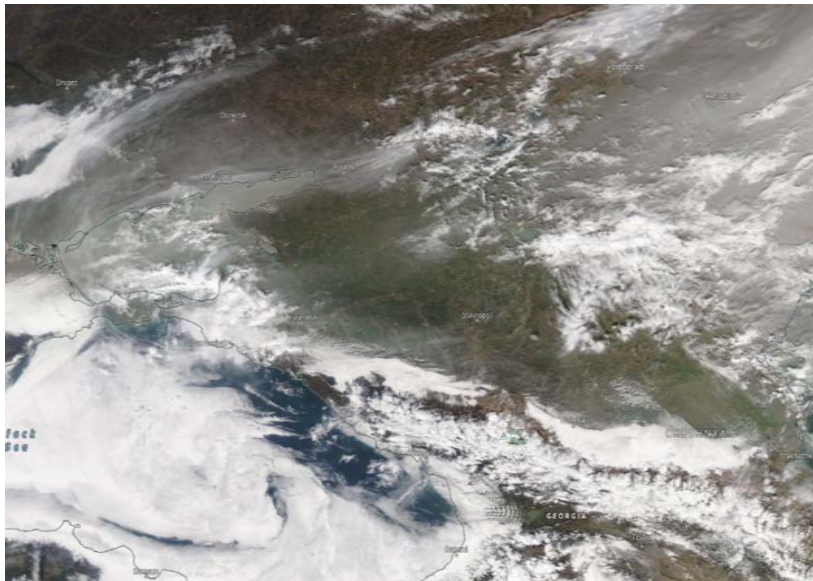
27.03 -28.03.20 $C_m = 48 \text{ мкг/м}^3$

$\text{Ca} > \text{S} > \text{Na} > \text{Al} > \text{Fe} > \text{Mg} > \text{K} > \text{Sr}$

Тенденции средних значений массового содержания химических элементов в пробах аэрозоля

Такая последовательность химических элементов говорит о высоком содержании в аэрозоле “минеральной пыли”

Снимки со спутника MODIS пыльной бури на Арале и трансграничного переноса минерального аэрозоля 23-24-25-26 марта 2020 г.

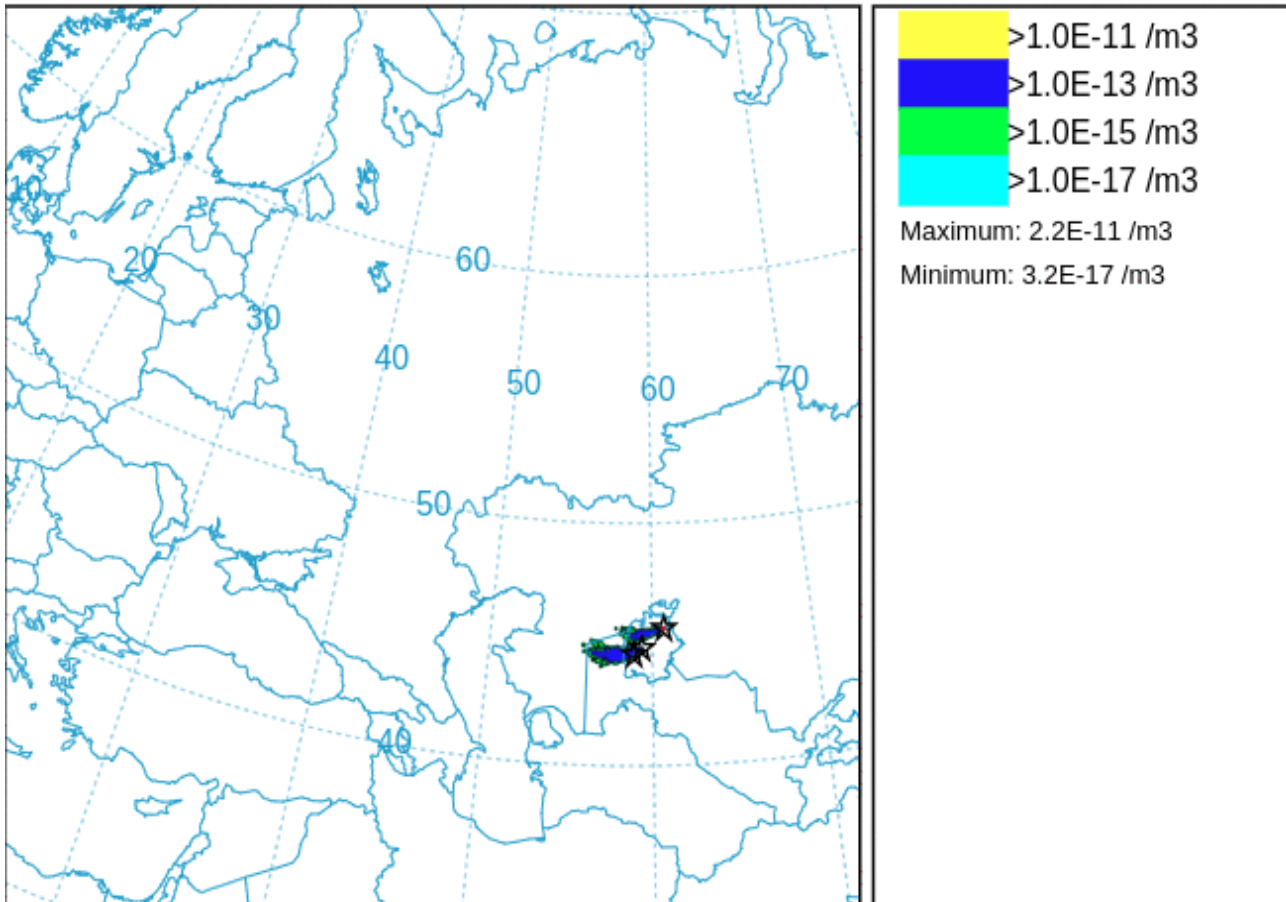


Моделирование (NOAA HYSPLIT) пыльной бури на Арале 23-26 марта 2020 г.

и трансграничный перенос минерального аэрозоля

NOAA HYSPLIT MODEL

Concentration (/m³) averaged between 0 m and 100 m
Integrated from 0000 23 Mar to 0600 23 Mar 20 (UTC)
SUM Release started at 0000 23 Mar 20 (UTC)



Расстояние от Арала до СФЭМ 1900 км

Среднесуточное значение массовой концентрации **26.03.2020**

(по модели CAMS) **PM10 ~ 80 мкг/м³**

Измеренное 195 мкг/м³

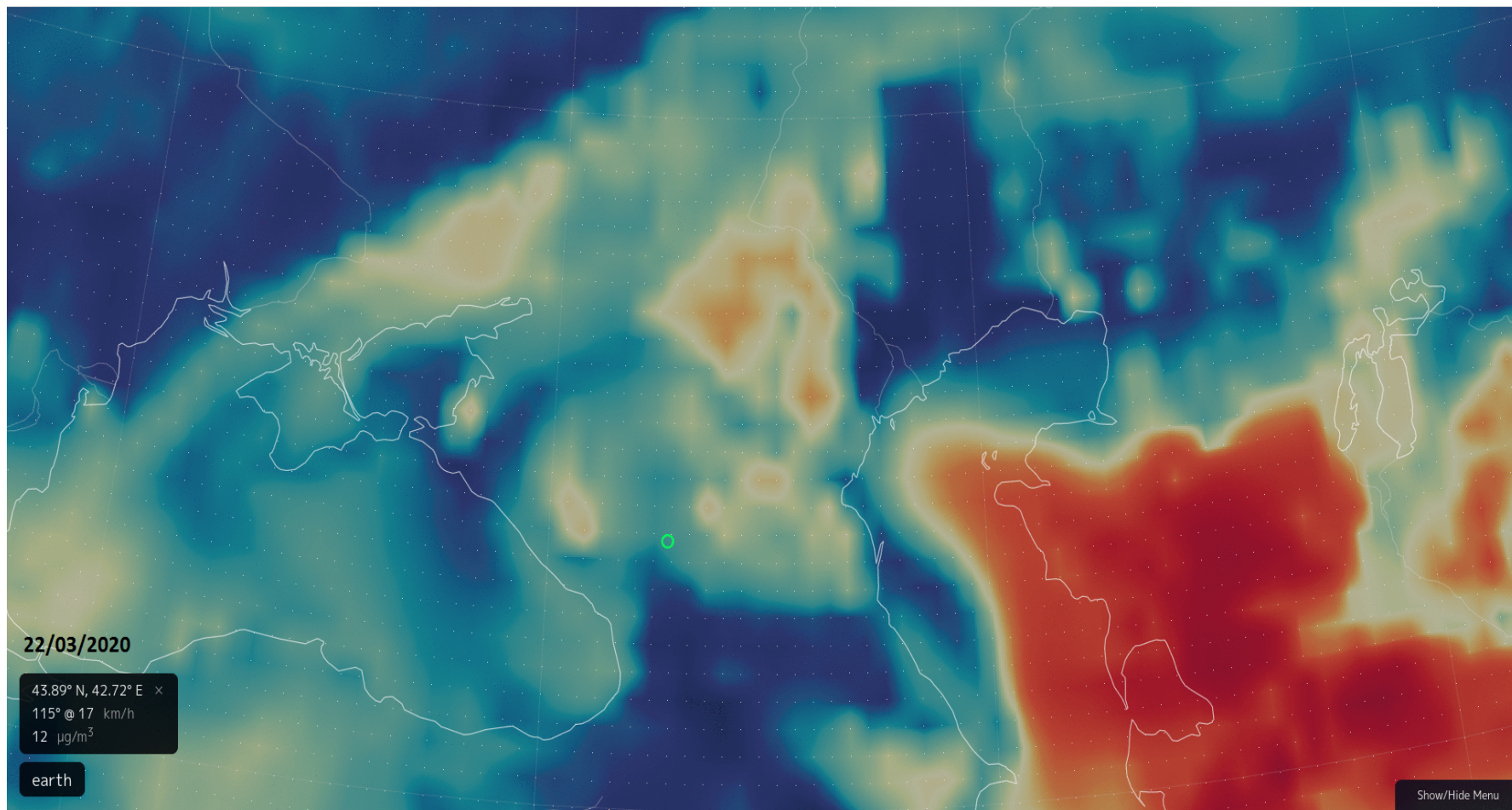
Предельно допустимое среднесуточное значение массовой концентрации по ВОЗ:

PM10 45 мкг/м³

PM2,5 15 мкг/м³

Картина прохождения минерального аэрозоля от пыльной бури на Арале через юг ЕТР

Точкой на карте обозначен г. Кисловодск. **Концентрация PM10 (по модели) достигает 146 мкг/м³**



**Предельно
допустимое
среднесуточное
значение массовой
концентрации по
ВОЗ:**

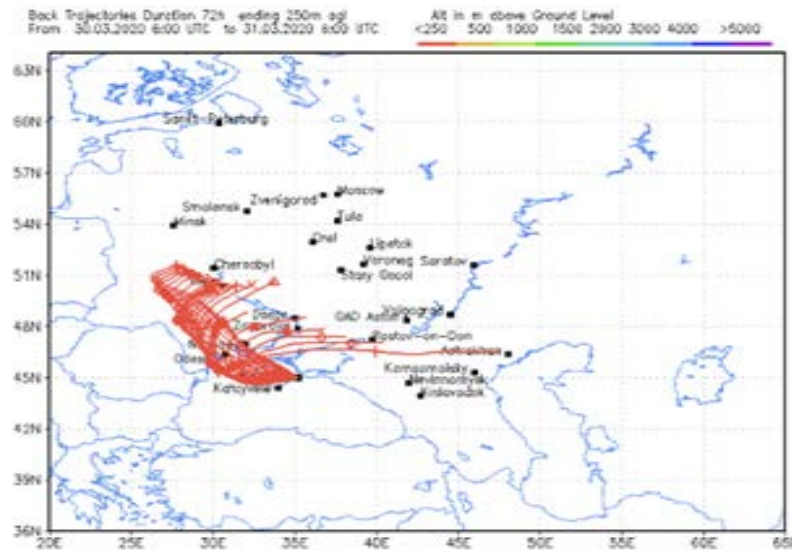
**PM10 45 мкг/м³
PM2,5 15 мкг/м³**

Модель CAMS /
Copernicus / European
Commission + ECMWF +
VIIRS NRT / FIRMS /
EOSDIS / NASA
22.03-29.03 2020

При анализе событий в регионе для визуализации динамической картины течения использовался открытый интернет ресурс earth.nullschool.net

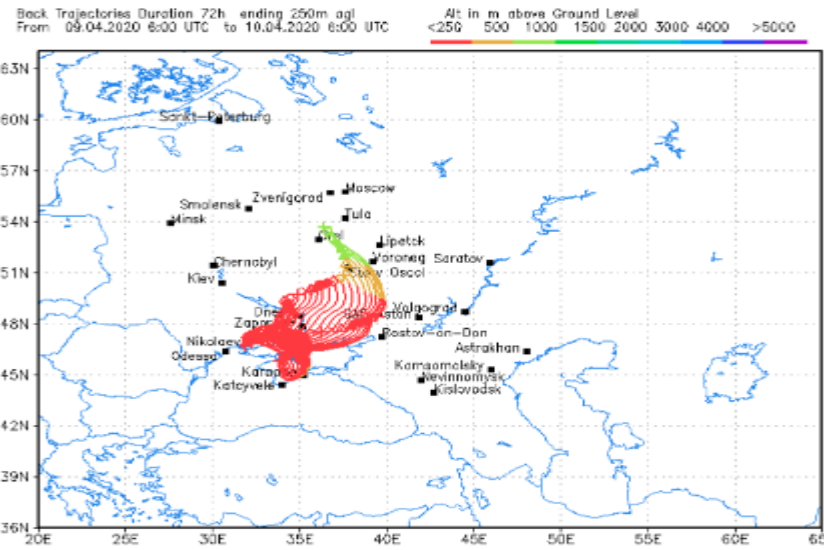
Трехдневные обратные траектории прихода воздушных масс в точку измерений на СФЭМ

Региональный перенос 19 проб



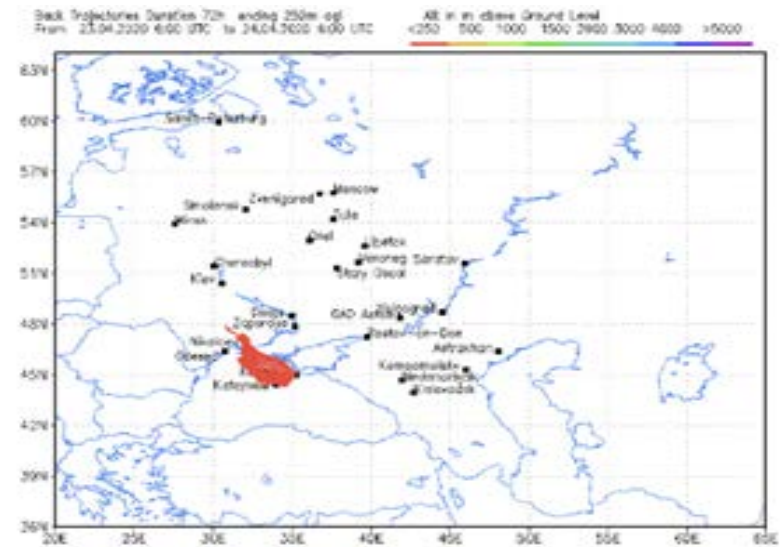
30.03.-31.03.20 $C_m=35 \text{ мкг/м}^3$

$S > Ca > Al > Na > Fe > K > Mg > P$



09.04 -10.04.20 $C_m=35 \text{ мкг/м}^3$

$Ca > Al > Fe > S > K > Mg > Na > P > Ti$



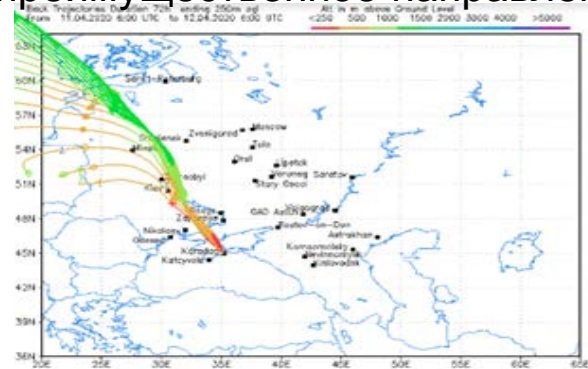
23.04-24.04.20 $C_m=18 \text{ мкг/м}^3$

$S > Al > Ca > Fe > K > Mg > Na > P$

Тенденции средних значений массового содержания химических элементов в пробах аэрозоля

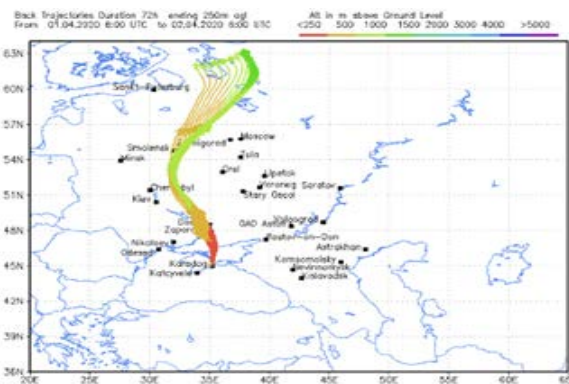
Трехдневные обратные траектории прихода воздушных масс в точку измерений на СФЭМ для различных направлений переноса

северо-запад 34 пробы
преимущественное направление



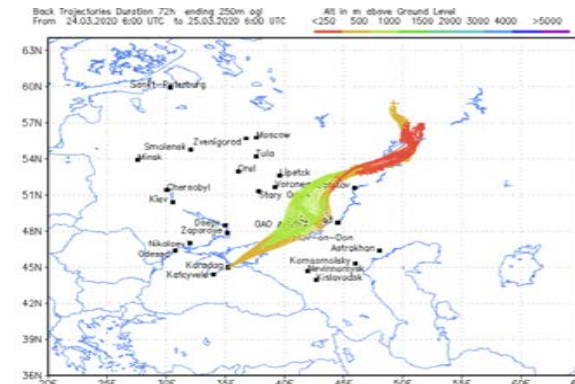
24.03.- 25.03.20 $C_m = 7 \text{ мкг/м}^3$
 $S > Na > Ca > Fe > Al > K > Mg > P$

север 3 пробы



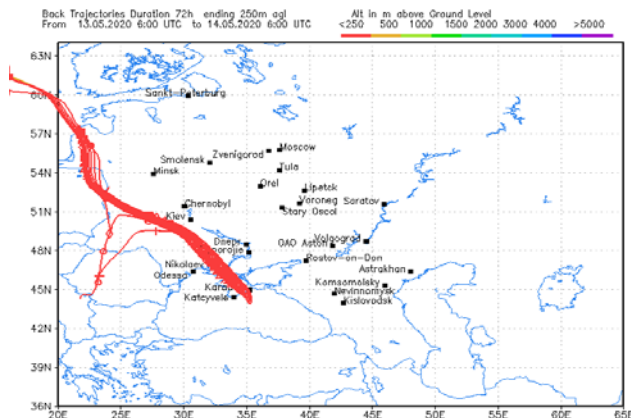
01.04.- 02.04.20 $C_m = 12 \text{ мкг/м}^3$
 $Na > S > Ca > Fe > Al > K > Mg > P$

северо- восток 3 пробы



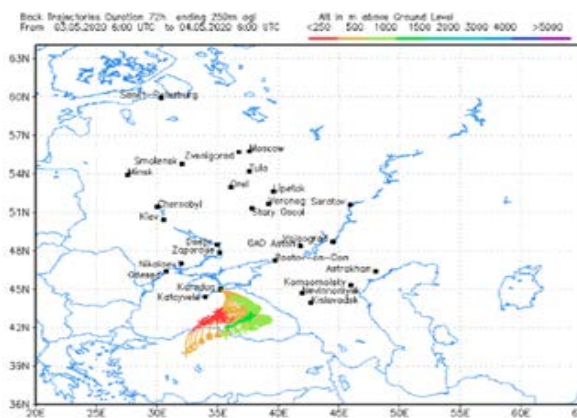
11.04.- 12.04.20 $C_m = 22 \text{ мкг/м}^3$
 $Fe > Ca > Al > S > K > Na > Mg > P$

северо-запад



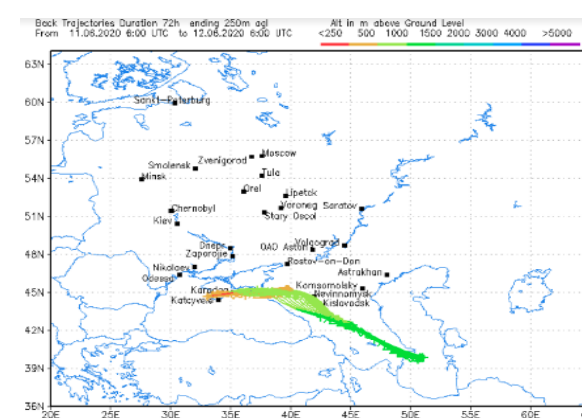
13.05.- 14.05.20 $C_m = 26 \text{ мкг/м}^3$
 $Ca > Al > Fe > S > K > Na > Mg > P$

юг 10 проб



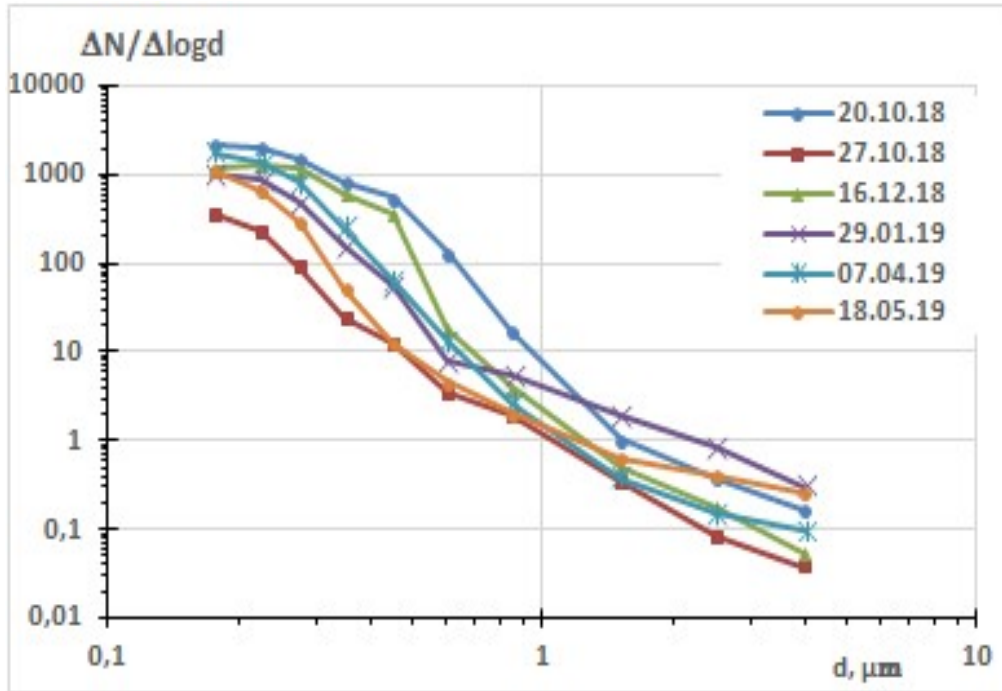
03.05.- 04.05.20 $C_m = 4 \text{ мкг/м}^3$
 $S > Ca > Al > Fe > K > Na > Mg > P$

юго-восток 9 проб

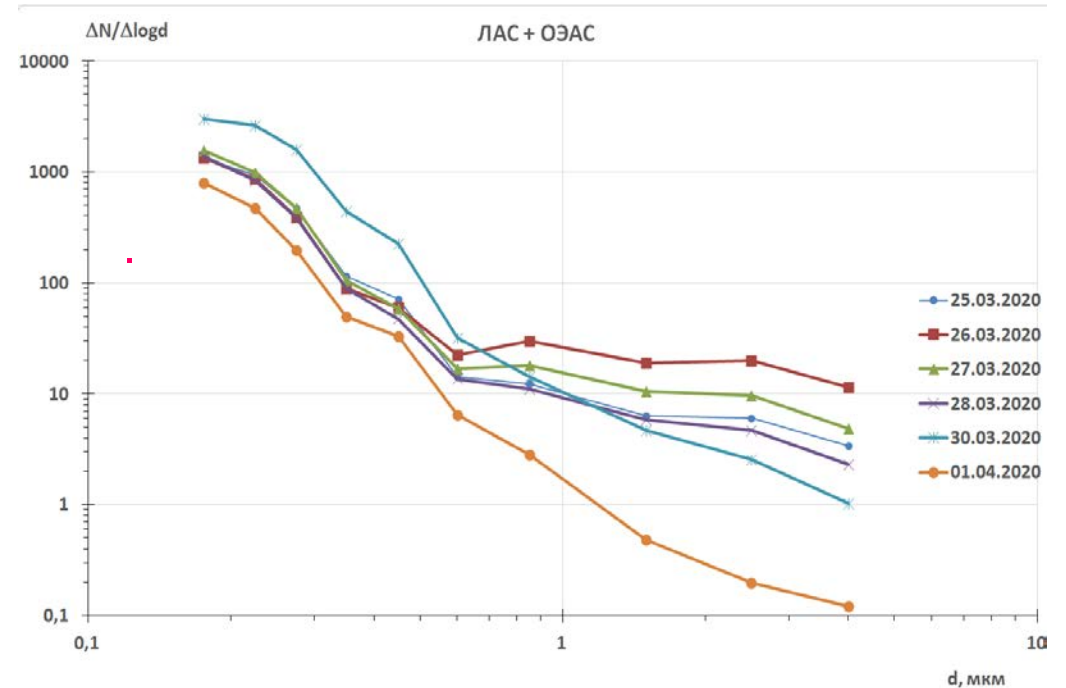


11.06.- 12.06.20 $C_m = 30 \text{ мкг/м}^3$
 $Ca > Al > Fe > S > K > Mg > Na > P$

Значения среднесуточной счетной концентрации по размерам аэрозольных частиц для различных направлений прихода воздушных масс



с 24.09.2018 по 17.06.2019



с 21.03.2020 по 17.06.2020

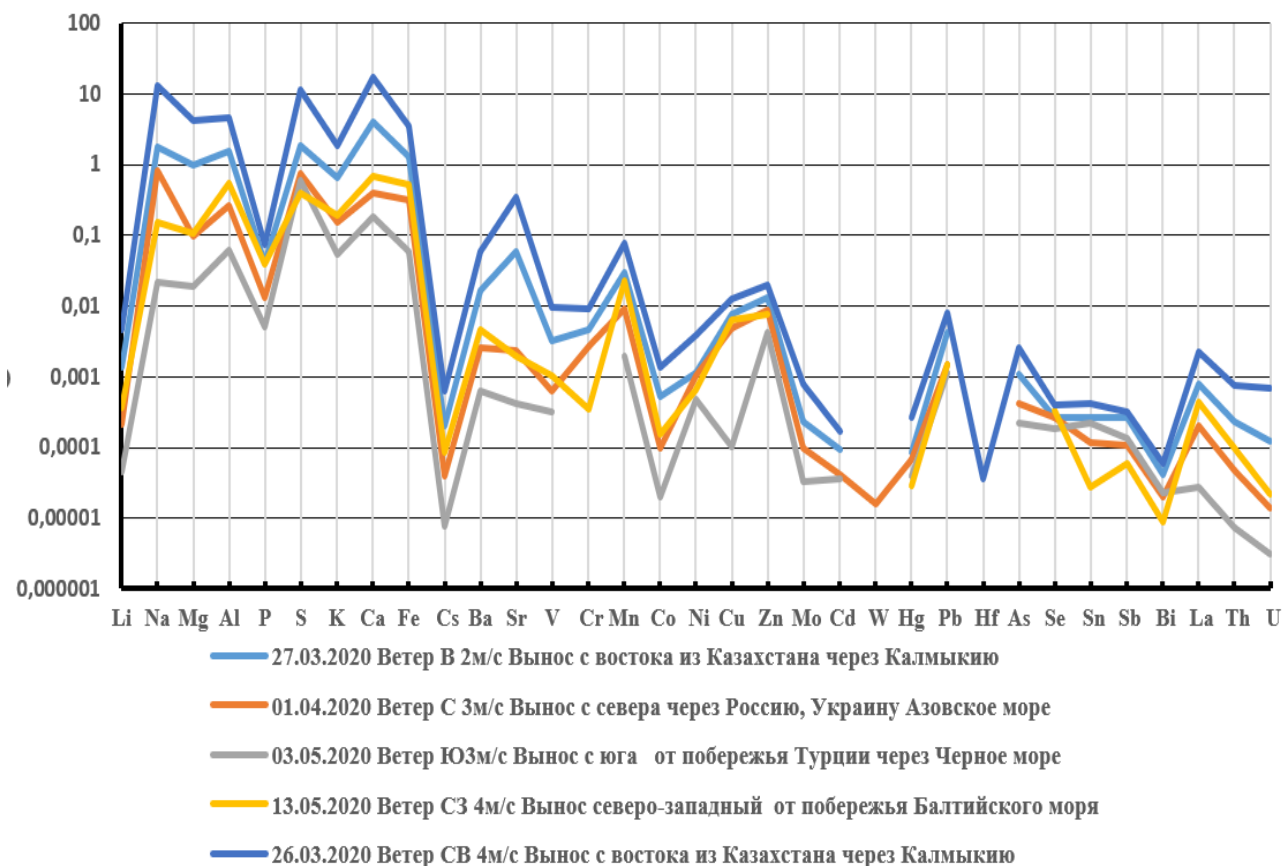
$C = 195 \text{ мкг/м}^3$ 26.03.2020

Элементный состав аэрозоля по измерениям 2020 г. 21.03-17.06.

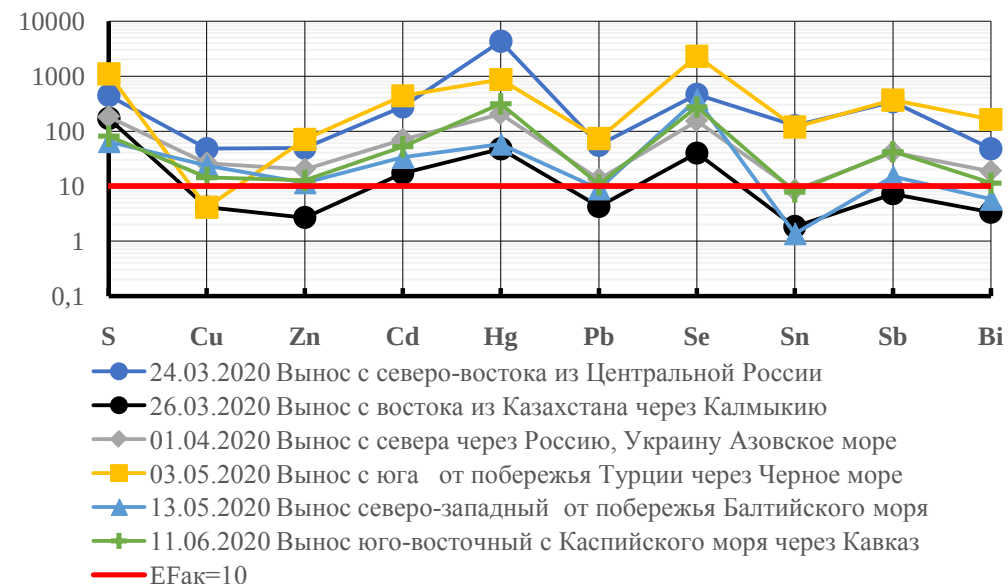
Всего 86 проб, проанализировано - 31

Массовая концентрация выбранных элементов

Химический состав аэрозоля, поступающего с востока 26.03.2020 (пыльная буря- Арал), отличается от остальных проб повышенными концентрациями всех элементов

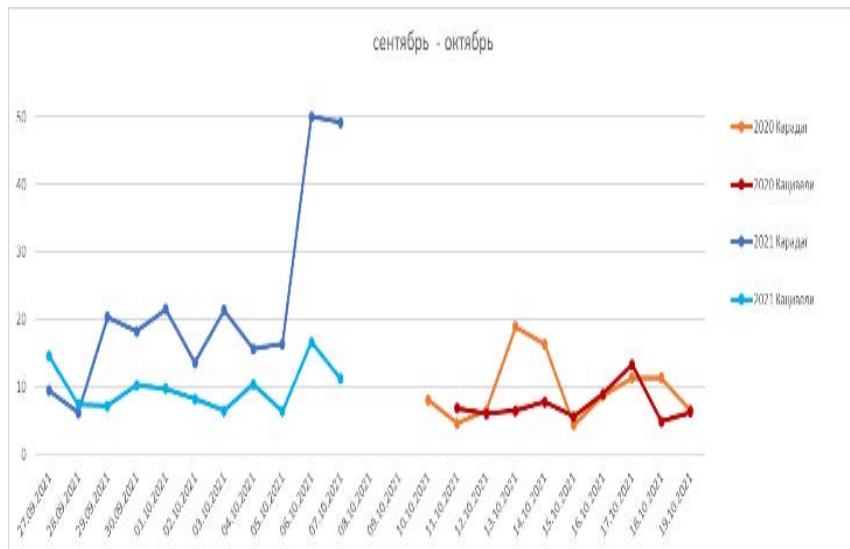


Коэффициенты обогащения нетерригенных химических элементов



Элементный анализ аэрозольных частиц проводился с помощью атомно-эмиссионного спектрометра TRACE ICAP 61E (производства фирмы Thermo Jarrell Ash, США) в Институте проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов Российской академии наук

Сравнение измерений в 2-х точках: на СФЭМ и в пос. Кацивели (октябрь 2020 г. и сентябрь-октябрь 2021 г.)



Значения массовой концентрации аэрозоля в 2-х точках измерений на СФЭМ и в пос. Кацивели (октябрь 2020 г. и сентябрь-октябрь 2021 г.)

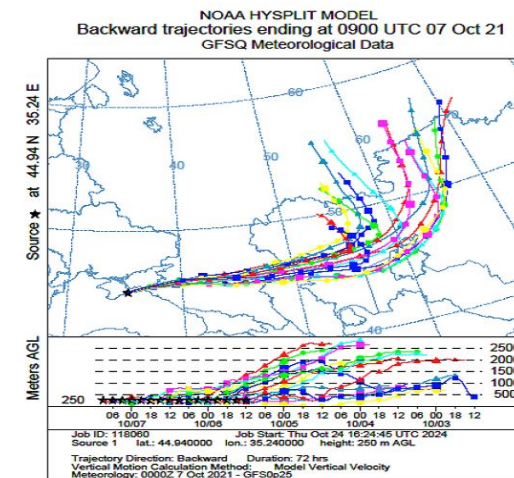
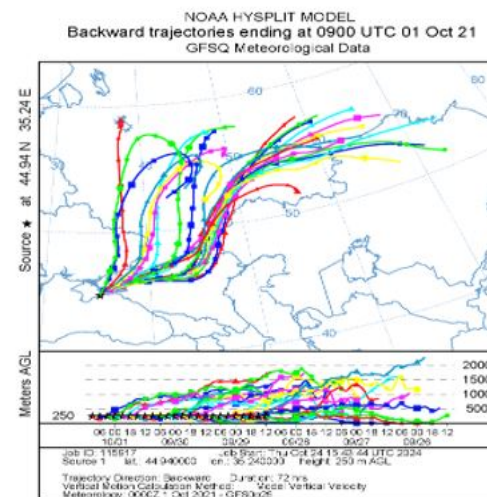
17.10.2020

СФЭМ - 20 мкг/м³, Кацивели – 8 мкг/м³

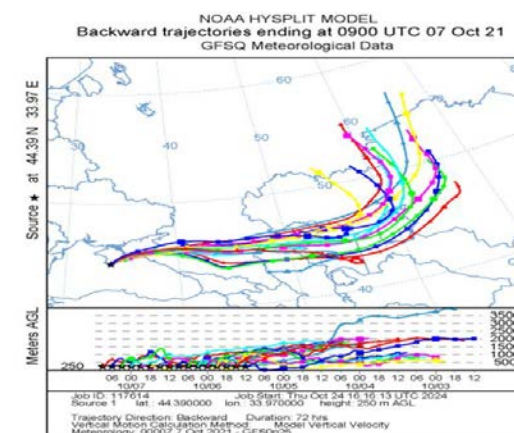
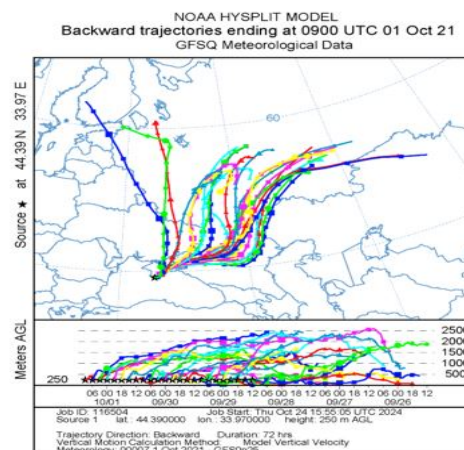
07.10.2021- вынос с Арала

СФЭМ - 50 мкг/м³, Кацивели – 18 мкг/м³

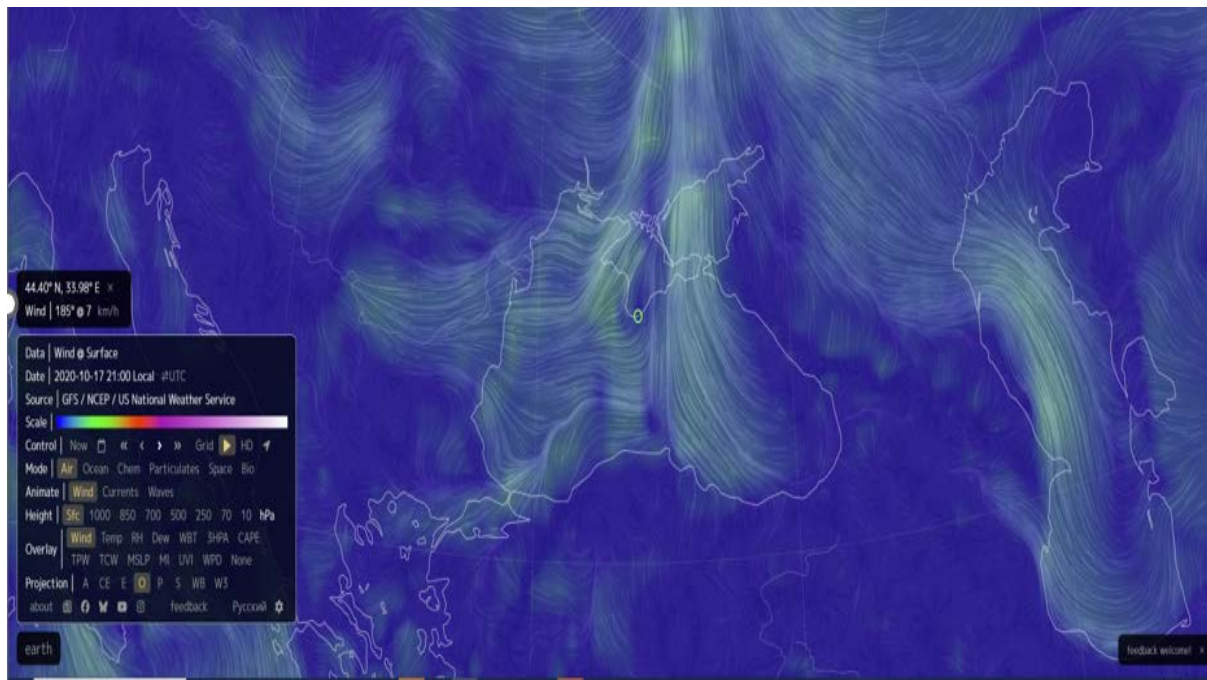
СФЭМ



Поселок Кацивели

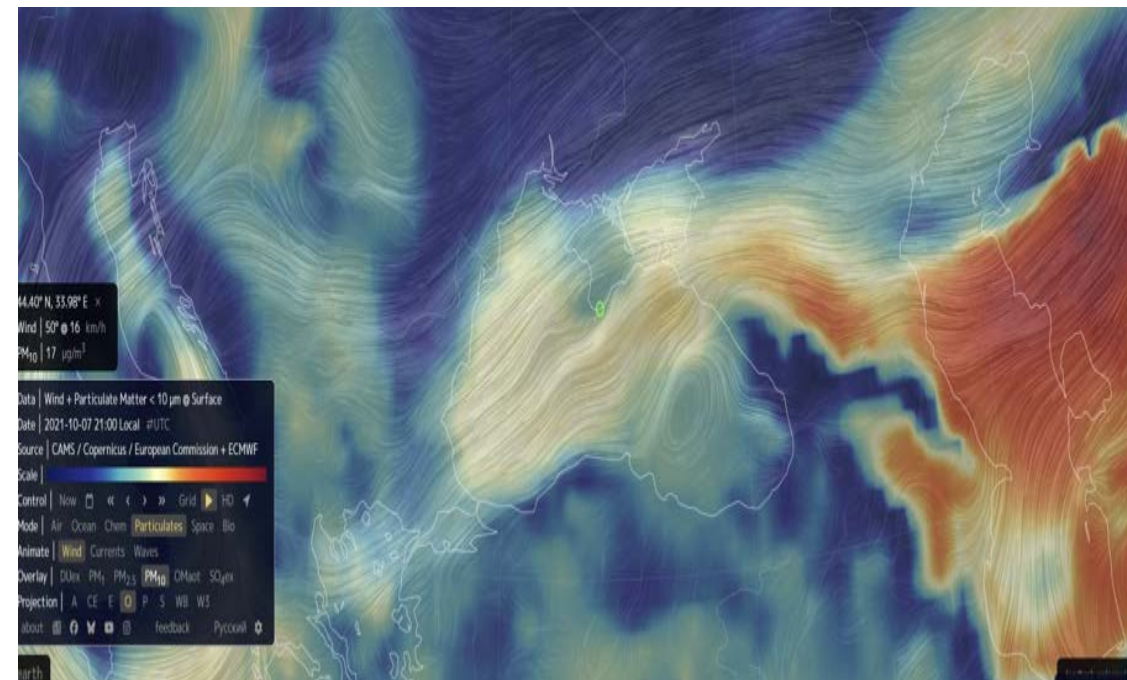


Модель CAMS / Copernicus / European Commission + ECMWF + VIIRS NRT / FIRMS / EOSDIS / NASA



17.10.2020

СФЭМ - 20 мкг/м³ , Кацивели – 8 мкг/м³



07.10.2021

СФЭМ - 50 мкг/м³ , Кацивели – 18 мкг/м³

Заключение

1. Проведены экспедиционные измерения аэрозоля в 2014 – 2015 г. в пос. Кацивели (ЮБК Крым) на базе Черноморского гидрофизического полигона Морского гидрофизического Института РАН и на морской платформе, в 2016 г. в г. Феодосия (в порту) и на мысе Илья.
2. С 2018 г. начаты регулярные измерения аэрозоля на СФЭМ Карадагского заповедника. С 2023 г. организован мониторинг аэрозоля.
3. С 2012 г. проводятся регулярные летние измерения аэрозоля на Цимлянской научной станции ИФА. С 2023 г. организован мониторинг аэрозоля.
4. С 2010 г. проводится мониторинг аэрозоля на Кисловодской высокогорной научной станции ИФА.
5. С 1995 г. по 2024 гг. регулярные летние экспедиционные измерения аэрозоля в Калмыкии
6. Создана система мониторинга аэрозоля на юге России. Полученные данные можно использовать при экологической оценке состояния приземного слоя атмосферы юга России.
7. Необходимо проводить дальнейшую инвентаризацию источников атмосферного аэрозольного загрязнения ЕТР и формировать базу данных источников эмиссии аэрозоля на юге России, для включения в численные модели и для улучшения качества прогнозов.

Благодарю за внимание !

Приглашаю к стенду, где представлены доклады:

- **Мониторинг аэрозоля на Кисловодской высокогорной научной станции ИФА в 2010 - 2020 гг.**
- **Временные вариации элементного и дисперсного состава атмосферного фоновых аэрозоля в Крыму весной-летом 2020 года**

Публикации

Artamonova M. A. Iordanskiia, O. G. Chkhetiania, V. A. Lapchenko, and L. O. Maksimenkova Characteristics of Aerosol Distribution and Composition in Southeastern Crimea in Spring 2020, *Atmospheric and Oceanic Optics*, 2023, Vol. 36, No. 6, pp. 685–700.

Губанова Д.П., Чхетиани О.Г., Кудерина Т.М., Иорданский М.А., Максименков Л.О., Артамонова М.С. Многолетняя изменчивость состава приземного аэрозоля в опустыненных и засушливых зонах юга России. *Оптика атмосферы и океана*. 2022. Т. 35. № 6. С. 456-464.

Chkhetiani O., Vazaeva N.V., Chernokulsky A.V., Shukurov K.A., Gubanova D.P., Artamonova M.S., Maksimenkov L.O., Kozlov F.A., Kuderina T.M. Analysis of mineral aerosol in the surface layer over the Caspian lowland desert by the data of 12 summer field campaigns in 2002–2020 // *Atmosphere*. 2021. V. 12. P. 985-997.

Gubanova D.P. Chkhetiani O.G. Kuderina T.M. Artamonova M.S. Iordanskii M.A. Obvintsev. Y.I. Aerosol elemental composition in high-mountain landscape: Caucasian Mineral Waters region. In *27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics SPIE*. V. 11916. P. 571-577. 2021.

Kuderina T. Kudikov A. Chkhetiani O. Artamonova M. Geochemical differentiation of atmospheric aerosols in natural zones of European Russia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 7th World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium. WMESS 2021. V.906. NO. 1. P. 012048. 2021

Artamonova. M.S. Chkhetiani. O.G. Lapchenko. V.A. Iordanskii. M.A. and Maksimenkov. L.O. Experimental studies of aerosol in South-East Crimea. In *26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics SPIE* V. 11560. P. 1156052. 2020.

Губанова Д.П., Чхетиани О.Г., Кудерина Т.М., Иорданский, М.А., Обвинцев Ю.И., Артамонова М.С. Экспериментальные исследования аэрозолей в атмосфере семиаридных ландшафтов Калмыкии. 1. Микрофизические параметры и массовая концентрация аэрозольных частиц // *Геофиз. процессы и биосфера*. 2018. № 1. С. 5–29

Губанова Д.П., Кудерина Т.М., Чхетиани О.Г., Иорданский, М.А., Обвинцев Ю.И., Артамонова М.С., Экспериментальные исследования аэрозолей в атмосфере семиаридных ландшафтов Калмыкии 2. Ландшафтно- геохимический состав аэрозольных частиц // *Геофиз. процессы и биосфера*. 2018. Т. 17, № 3. С. 18–44.

Chkhetiani O.G., Gledzer E.B., Artamonova M.S., & Iordanskii M.A. Dust resuspension under weak wind conditions: direct observations and model // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2012. V. 12. №. 11. P. 5147-5162.