



БЮЛЛЕТЕНЬ ВМО ПО АТМОСФЕРНОЙ ПЫЛИ

Обзор обстановки с атмосферной пылью в мире в 2023 году

Среднемировые среднегодовые показатели приземной концентрации пыли ($12,7 \text{ мкг/м}^3$; см. рисунок 1 а) в 2023 году были несколько ниже, чем в 2022 году ($13,8 \text{ мкг/м}^3$; см. *WMO Airborne Dust Bulletin, No. 7*) (Бюллетень ВМО по атмосферной пыли № 7)). Снижение данных показателей в 2023 году главным образом связано с уменьшением выбросов пыли в нескольких пылеактивных регионах мира, в частности в Северной Африке, на Аравийском полуострове, Иранском нагорье, в северной части Индии, центральной части Австралии и на северо-западе Китая. Однако среднегодовые показатели приземной концентрации пыли над западной частью Центральной Азии, севером центральной части Китая и югом Монголии в 2023 году были выше, чем в 2022 году. В пространственном отношении предполагаемая максимальная среднегодовая приземная концентрация пыли ($\sim 800\text{--}1100 \text{ мкг/м}^3$) в 2023 году была отмечена в некоторых районах Чада в северной части Центральной Африки. В Южном полушарии концентрация пыли достигла максимального уровня ($\sim 150\text{--}250 \text{ мкг/м}^3$) в некоторых районах центральной части Австралии и на западном побережье Южной Африки. Пылевые аэрозоли могут переноситься ветром из этих типичных районов источника пыли во

многие другие регионы мира на расстояния от сотен до тысяч километров. Регионами, наиболее уязвимыми для переноса пыли на большие расстояния, являются северная тропическая часть Атлантического океана между Западной Африкой и Карибским бассейном, Южная Америка, Средиземное море, Аравийское море, Бенгальский залив и центральная часть востока Китая. В 2023 году в результате трансатлантического переноса пыль из Африки попала на некоторые территории региона Карибского моря, а пылевые аэрозоли из пустыни Гоби, Восточная Азия, продолжили достигать залива Бохайвань и Желтого моря.

В наиболее пострадавших районах показатель среднегодовой приземной концентрации пыли в 2023 году оказался выше показателя климатологического среднего. Исключение составили: большая часть запада Центральной Африки, включая Сенегал, западную Сахару, Гвинею, Мавританию, Мали, Нигер, Марокко, большую часть Алжира, Ливию, южную часть центрального Чада и центральный Судан; Аравийский полуостров; север Иранского нагорья; и средний запад Австралии (см. рисунок 1 б)). Очаги с существенно более высокими концентрациями пыли были обнаружены в Южной Америке; в некоторых частях Северной и Центральной Африки, включая центральный и восточный Египет, южный

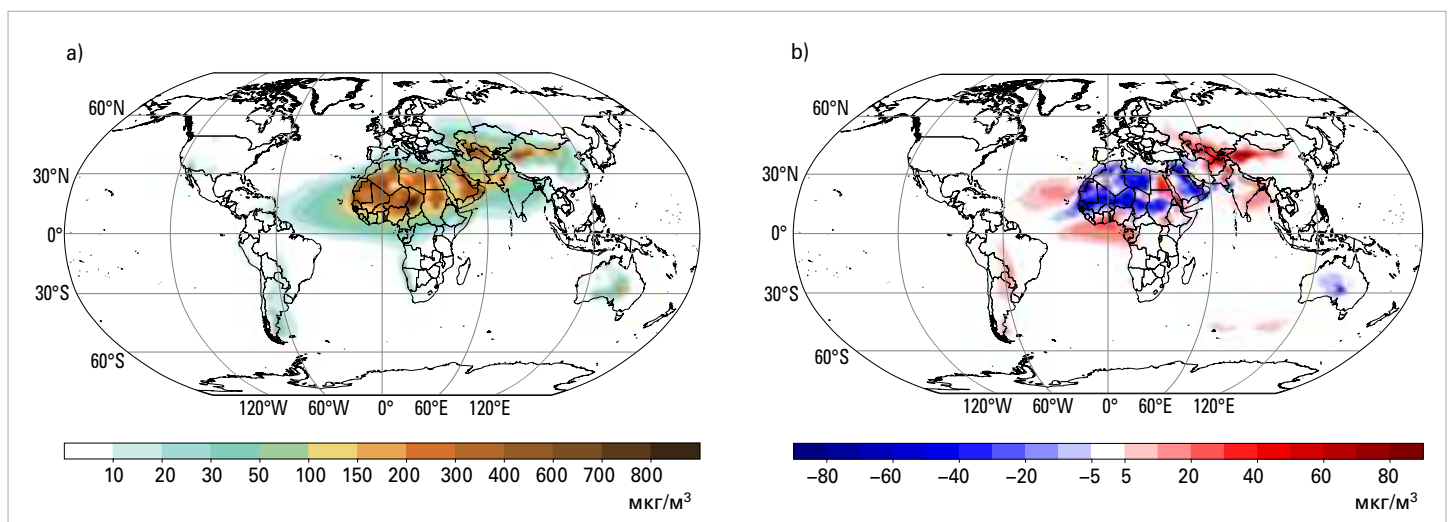


Рисунок 1. а) Среднегодовая приземная концентрация минеральной пыли (мкг/м^3) в 2023 г. б) Аномальные значения среднегодовой приземной концентрации пыли в 2023 г. по отношению к среднему значению 1981—2010 гг.

Источник: данные результаты были получены на основе анализа Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2) (Gelaro et al., 2017)

и северный Судан, северный Чад, Либерию, Кот-д'Ивуар, Гану, Того, Бенин, запад Нигерии, южный Камерун, Габон и Конго; в Красное море; на востоке Иранского нагорья; в Бенгальском заливе; в части Центральной Азии, включая юг Казахстана, Ирак, Узбекистан и Кыргызстан; в Южной Азии; в части Восточной Азии, включая северо-запад и север центральной части Китая, и тропической части Атлантического океана между Западной Африкой и Карибским морем.

Сильные пыльные бури над Восточной Азией весной 2023 года

Продолжительная засуха в странах Азиатского региона, продолжающаяся уже более десятилетия (*Состояние климата в Азии в 2022 году*), наряду с воздействием других факторов окружающей среды, стала причиной кризиса, который затронул природные ресурсы и окружающую среду в регионе. Анализ климатологических особенностей приземной концентрации пыли на рисунке 2 показывает, что самые высокие концентрации пыли (более 40 мкг/м³)

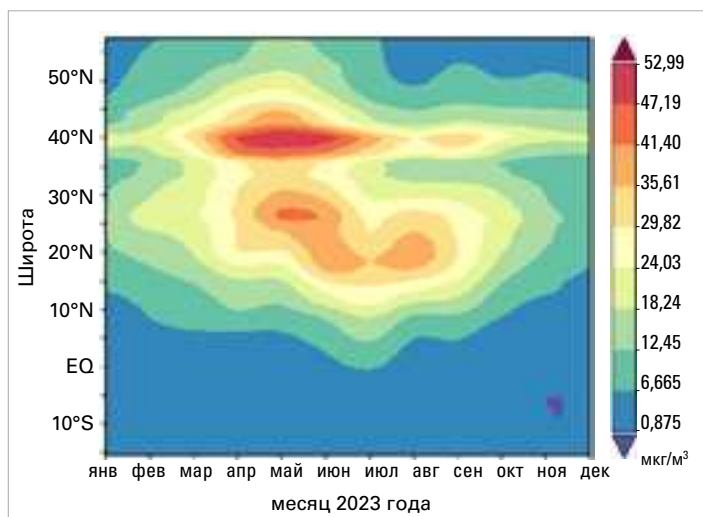


Рисунок 2. Среднемесячные значения приземной концентрации пыли с января 2023 года по декабрь 2023 года для Азиатского региона (10° ю. ш. — 50° с. ш. и 30° в. д. — 130° в. д.) с разбивкой по широтам. Источник: на основе массива данных реанализа частиц пыли PM₁₀ (дисперсные частицы диаметром <10 мкм) MERRA-2 от NASA (Gelaro et al., 2017)

в период с марта по июль наблюдались в районе между 37 и 43° с. ш., где находятся крупнейшие пустыни Азии (Гоби, Такламакан и Каракумы). В районе между 27 и 37° с. ш. в период с апреля по сентябрь наблюдались умеренные концентрации пыли (выше 30 мкг/м³) там, где расположена пустыня Тар в Индии и источники в бассейне реки Систан в Исламской Республике Иран, а также в бассейне рек Тигр и Евфрат в Ираке.

Сезон с марта по май — самый «запыленный» в Восточной Азии. Весной 2023 года во всей северной части Китая наблюдалось значительное присутствие пыли, зафиксированное сетями контроля за качеством воздуха в регионе (см. среднегодовые значения PM₁₀ на рисунке 3 а)), что привело к серьезному ухудшению качества жизни и здоровья населения. В 2023 году спутники «Фэнъюнь-4» осуществляли мониторинг 32 песчано-пыльных бурь (ППБ), большинство из которых (29 из 32) наблюдались весной.

Что касается локальных приземных условий в местах источников пыли, как показано в работе Лю (Liu et al., 2024), пространственное распределение приземной температуры воздуха в предшествующий период (февраль—апрель) в пустыне Гоби указывает на явное потепление, с аномальным повышением температуры примерно на 1,5 °C по сравнению со средними показателями за 1991—2010 гг. Стоит отметить, что показатели осадков и влажности почвы демонстрируют отрицательные аномалии. Эти приземные аномалии создали благоприятные условия для усиления пылевой активности весной 2023 года. Помимо локальных приземных факторов, географически удаленные аномалии температуры поверхности моря (ТПМ) могут запустить крупномасштабную дальнюю корреляционную связь в атмосфере через взаимодействие воздуха и моря и тем самым изменить местную скорость ветра и усилить активность пыли над северной частью Китая. В северной части Атлантического океана ярко выраженные положительные аномалии ТПМ наблюдались весной 2023 года (рисунок 3 б)).

В проводимом исследовании о вкладе пустынь Синьцзяна, Монголии и Внутренней Монголии в количество пыли в Китае, Японии и Республике Корея во время пяти пыльных бурь весной 2023 года (рисунок 4)

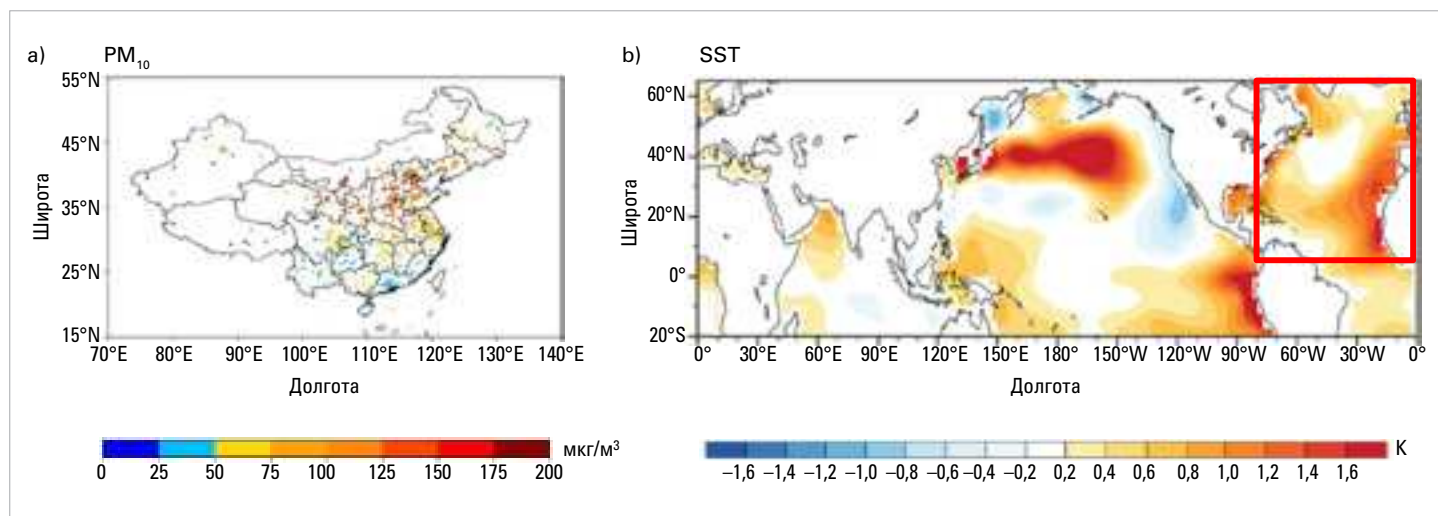


Рисунок 3. а) Среднее значение концентрации частиц PM10 весной (март—май) 2023 г., полученное со станций наблюдения в Китае. б) Аномалии ТПМ весной 2023 г. относительно климата 1991—2020 гг. по данным ERA5

Источник: адаптировано из работы Liu et al. (2024)

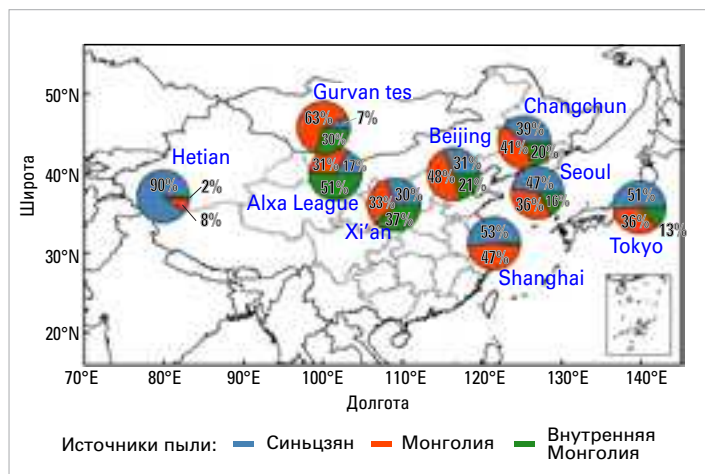


Рисунок 4. Роль трех пустынь (Синьцзян, Монголия и Внутренняя Монголия) в увеличении показателей приземной концентрации пыли в населенных пунктах, расположенных вблизи пустынь, и в расположенных по ветру населенных пунктах в Китае, Японии и Республике Корея. В анализе рассматриваются пять явлений, произошедших весной 2023 г.: 9—12 марта, 19—24 марта, 9—15 апреля, 18—21 апреля и 18—21 мая. Источник: Hong Wang

было установлено, что наиболее крупные выбросы пыли наблюдались в Синьцзяне, за которым следовали Монголия и Внутренняя Монголия. Результаты варьировались в зависимости от регионов: Синьцзян в основном повлиял на городской уезд Хотан; Монголия и Внутренняя Монголия влияли друг на друга (районы Гурвантэс и Алашань); все три региона повлияли на Сиань. Монголия оказала наибольшее влияние на Пекин и Чанчунь, а в Шанхай, Сеул и Токио пыль наносило в основном из Синьцзяна.

Крупные песчаные и пыльные явления в 2023 году

Пылевые нагоны харматана над Сахелем и Гвинейским заливом в декабре

С 11 по 21 декабря 2023 года ряд интенсивных выбросов пыли синоптического масштаба затронул обширный регион западного Магриба, Сахеля и Гвинейского залива. Кроме того, во время этого явления на полярных спутниковых снимках можно было проследить масштабный перенос пыли над Атлантическим океаном (рисунок 5). В период с 18 по 19 декабря видимость упала до 1500 м на о. Сал (Кабо-Верде) и в Дакаре (Сенегал), до 1000 м в Бамако (Мали) и до 700 м в Нуакшоте (Мавритания) (см. темно-коричневые кружки, обозначающие видимость <1 км, на рисунке 5). Ряд национальных метеорологических агентств, в частности Национальное агентство гражданской авиации и метеорологии Сенегала, выпустили предупреждения, а средства массовой информации обращали внимание на плохое качество воздуха (см. например <https://expressodasilhas.cv/pais/2023/12/19/inmg-alerta-sobre-niveis-elevados-de-particulas-inalaveis-devido-a-bruma-seca/89172>). Система оперативного прогнозирования, основанная на модели MONARCH, Регионального центра ВМО по контролю за запыленностью в Барселоне корректно предсказывала данное явление.

Сильные и устойчивые выбросы пыли, связанные с нагонами харматана (НХ), начались осенью 2023 года и

повторялись в течение всей зимы 2023—2024 гг., что имело значительные последствия для региона. Как и в ситуации, описанной ранее, они были обусловлены устойчивым зональным потоком с многочисленными системами фронтов и связанными с ними высотными ложбинами, проходящими из Атлантического океана над Европой, при этом некоторые из них достигли Северной Африки. Такая картина типична для НХ наряду с усилением ливийского антициклона. Подобные НХ демонстрируют конфигурацию атмосферной циркуляции, которая отличается от той, что была связана с внезапными и сильными выбросами пыли, затронувшими в предыдущие годы Северную Африку и Европу (Cuevas-Agulló et al., 2024). Эти предыдущие выбросы были вызваны сочетанием отсеченного циклона, проходящего над североафриканскими широтами, и блокирующей системы над Европой.

Зимние и ранневесенние пылевые явления в восточной части Карибского бассейна и в северной части Южной Америки

В период зимы и ранней весны в Северном полушарии с декабря 2023 года по апрель 2024 года наблюдался ряд пылевых явлений, которые затронули восточную часть Карибского моря и северную часть Южной Америки (Служба мониторинга атмосферы в рамках программы «Коперник» (СМАК)). Эталонная система прогнозирования количества пыли WRF-Chem,

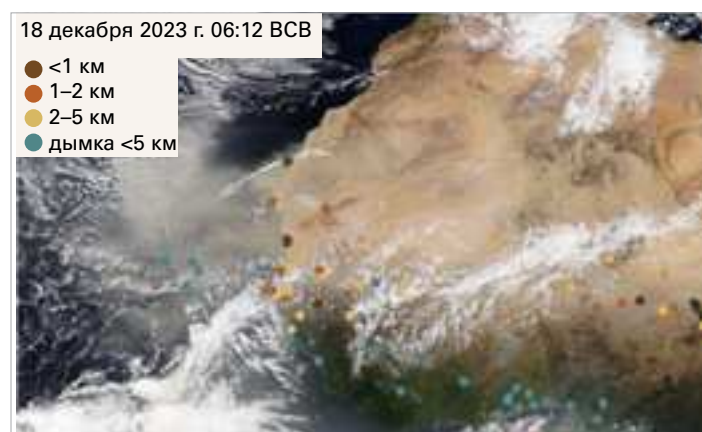


Рисунок 5. Видимое изображение, полученное радиометрическим блоком для получения изображений в видимом/ИК диапазонах (VIIRS), расположенным на борту полярного спутника NOAA-20 18 декабря 2023 г., и снижение видимости из-за наличия пыли (цветные кружки) Источник: NASA WorldView и Региональный центр ВМО по контролю за запыленностью в Барселоне

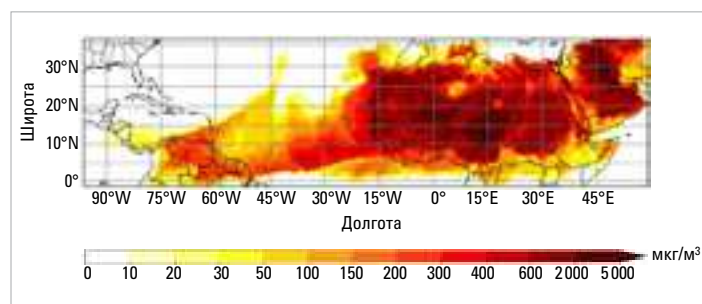


Рисунок 6. Действительный семидневный прогноз поверхностной концентрации пыли на 25 декабря 2023 года, 00:00 ВСВ Источник: прогнозы основаны на данных системы WRF-Chem КИМГ, предоставленных Региональному центру ВМО по контролю за запыленностью в Барбадосе

разработанная в Барбадосском региональном центре ВМО по контролю за запыленностью, находящаяся под управлением Карибского института метеорологии и гидрологии (КИМГ) (рисунок 6), предсказала масштабы пылевого явления в декабре 2023 года, которое возникло в Сахаре и обрушилось на Карибское море 25 декабря. Данное явление подтвердилось наблюдениями со станции **AERONET** в Барбадосе (станция Раггед Поинт), где 24 декабря был зафиксирован пик оптической плотности аэрозолей (ОПА) на отметке 0,6 (не указано).

Пылевые явления часто затрагивают острова Гваделупа и Барбадос (оба острова находятся в восточной части Карибского моря) в летний период, а весной они периодически воздействуют на Гваделупу, Барбадос и Кайенну, Французская Гвиана (северная часть Южной Америки), как показано в работе Prospero et al. (2014). Эти недавние явления, произошедшие зимой и ранней весной, по-видимому, являются отклонением от климатологической модели, которая предполагает усиление интенсивности воздействия пылевых шлейфов в Карибском море с юга на север. Недавние исследования, такие как Zuidema et al. (2019), показали, что в этом году интенсивные пылевые явления могут наступать раньше в Барбадосе и, как следствие, в восточной части Карибского моря.

Сильные весенние пыльные бури над Восточной Азией

В период с марта по май 2023 года Восточная Азия подвергалась интенсивным вторжениям пыли 13 раз. С 9 по 12 апреля 2023 года под влиянием сильного циклона в Монголии и сопутствующего холодного воздуха в южной части Монголии наблюдалась сильная ППБ, которая затронула большую часть реки Янцзы в Китае, Корейский полуостров, Японию и другие районы, двигаясь на восток к Тихому океану. Карта распределения максимального индекса инфракрасной разности пыли (ИИРП), полученная со спутника «Фэньюнь-4В» (рисунок 7), показывает, что 10 апреля в большинстве районов Монгольского плато наблюдалась сильная ППБ, которая в последующие дни была перенесена на северо-восток Китая. Качество воздуха и видимость в этих районах ухудшились, в некоторых районах видимость снизилась до <10 км (рисунок 7 с)). В большинстве районов на севере и востоке Японии пыль зафиксировали 12 апреля.

В период с 19 по 24 марта на территории Монголии и северной части Китая наблюдалась самая сильная ППБ за 2023 год. Данное пыльное явление затронуло более 4 миллионов квадратных километров, в том числе 20 провинций Китая. Это явление было вызвано циклоном над Монголией, усиление произошло под воздействием холодного приземного ветра и привело к масштабному подъему песка. Усиление бури с запада на восток привело к быстрому распространению песка и пыли, которые затронули Монголию и Китай и даже достигли Республики Корея и Японию. Данная буря привела к резкому снижению уровня качества воздуха: концентрация частиц PM_{10} в некоторых районах превысила 9000 мкг/м^3 . В некоторых районах Пекина видимость снизилась до менее чем 500 м, что привело к значительным нарушениям в работе транспорта и в повседневной жизни, выдвинув на первый план необходимость создания эффективных систем предупреждений (рисунок 7 с)). Пылевые аэрозоли играют важнейшую роль в климатическом воздействии, они могут изменять радиационный баланс

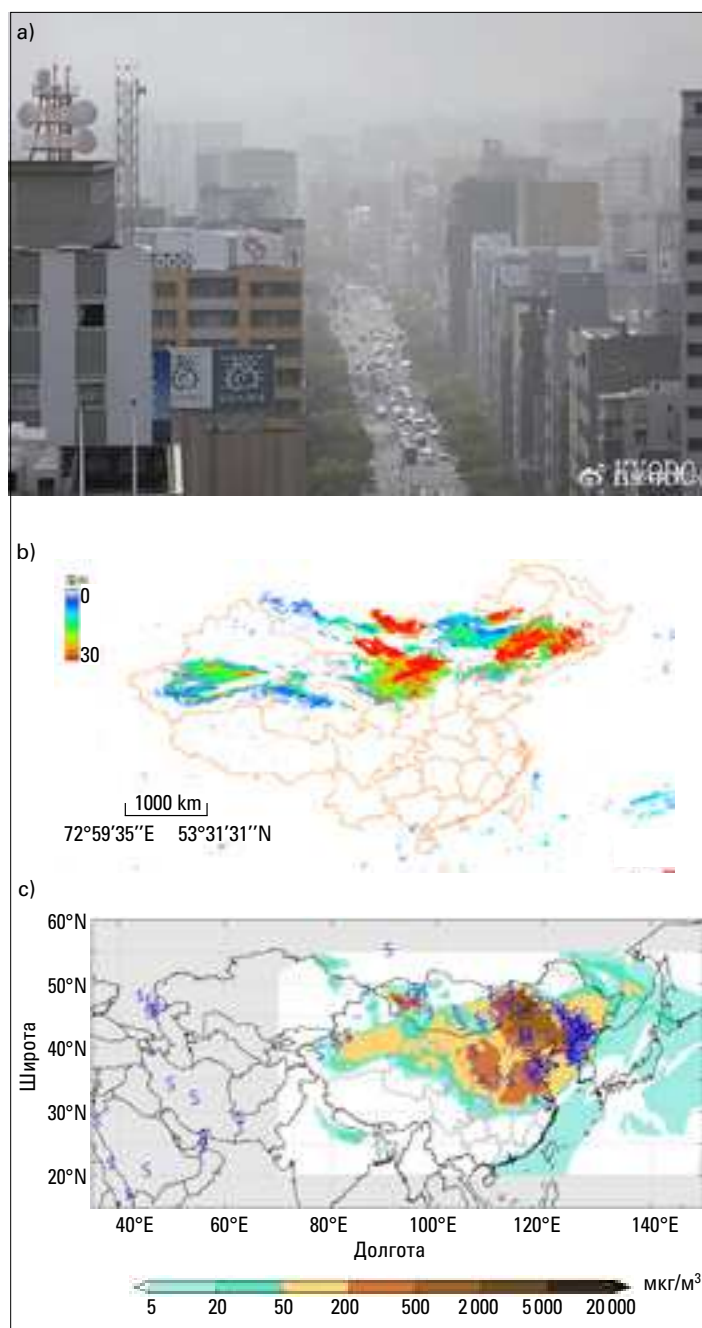


Рисунок 7. а) Пыль, накрывшая город Фукуока (Япония), 12 апреля, 9:40 утра по местному времени. б) Карта распределения максимального индекса инфракрасной разности пыли (ИИРП), полученная со спутника «Фэньюнь-4В» на 10 апреля. в) Сравнение между наблюдаемым явлением песчаных и пыльных бурь и прогнозируемой приземной концентрацией пыли (мкг/м^3) на основе ансамблевого прогнозирования Азиатского узла Системы предупреждений и оповещений о песчаных и пыльных бурях и их оценки ВМО (СДС-ВАС) на 09:00 UTC 21 марта 2023 г. Синими символами обозначены метеостанции, на которых проводились наблюдения за пылью.

Источники: а) KYODO NEWS; б) и в) Центр прогноза пыльных бурь в Пекине

системы «Земля-атмосфера», путем рассеивания или поглощения солнечной радиации и длинноволнового излучения поверхности, что напрямую влияет на климат. Анализ обратной связи пыль-радиация с помощью чувствительных экспериментов показал, что пыль вызывает охлаждение поверхности в восточной части Китая. Стоит отметить, что снижение температуры на высоте 2 м может достигать $0,4^\circ\text{C}$. Резкое охлаждение поверхности, вызванное пылью, оказало серьезное влияние на население.

На пути к улучшению оперативных прогнозов запыленности и ее предупреждения

Глобальное ансамблевое прогнозирование запыленности

Прогнозирование пылевых явлений сопряжено с неопределенностями, поскольку на качество прогноза влияют ошибки метеорологических прогнозов (как для выбросов, так и для переноса пыли) и прогнозов состава атмосферы (схема выброса пыли, осаждение пыли), а также потенциальные ошибки в отношении исходных данных, таких как состав почвы (разница между илом, песком и глиной). Все подобные ошибки будут накапливаться в ходе прогнозирования пыльных бурь и, вероятно, будут влиять на будущие прогнозы, если текущий прогноз будет использоваться в качестве одного из начальных условий. Ансамблевый подход хорошо справляется с количественной оценкой подобных ошибок и их накоплением во времени. В ансамбле прогнозов запыленности стохастические возмущения применяются к начальным условиям, исходным данным и тенденциям модели. Данный подход, давно используемый для метеорологических прогнозов, также может быть использован для более точного прогнозирования экстремальных пыльных явлений и для получения метрики точности модели в прогнозировании пылевого явления по разбросу по ансамблю.

Комбинируя различные виды возмущений (метеорологические и химические начальные условия и тенденции, функция источника пыли, фракции типа почвы, распределения по размерам, антропогенные выбросы), цель этого подхода заключается в прогнозировании и количественной оценке вклада метеорологических неопределенностей, неопределенностей внесения пыли и неопределенностей модели аэрозоля в общую неопределенность прогнозов пыльных бурь. Другой целью является изучение потенциальной добавленной стоимости подобного ансамблевого подхода к прогнозированию пыльных бурь.

На рисунке 8 показан пример такого анализа неопределенности на основе экспериментального ансамбля состава атмосферы IFS-COMPO с 50 возмущенными элементами, разработанного с использованием результатов работы по созданию ансамбля комплексной системы прогноза для численного прогнозирования погоды (ЧПП). Для пылевого явления, которое обрушилось на большую часть Западной Европы в период с 20 по 22 февраля 2021 года, было проведено ансамблевое моделирование, в котором возмущение вызывалось различными комбинациями вышеуказанных факторов. Данный анализ является предварительным и действителен только для данного конкретного явления в данном конкретном регионе.

Результаты (рисунок 8) позволили провести количественную оценку неопределенности (измеряемую разбросом по

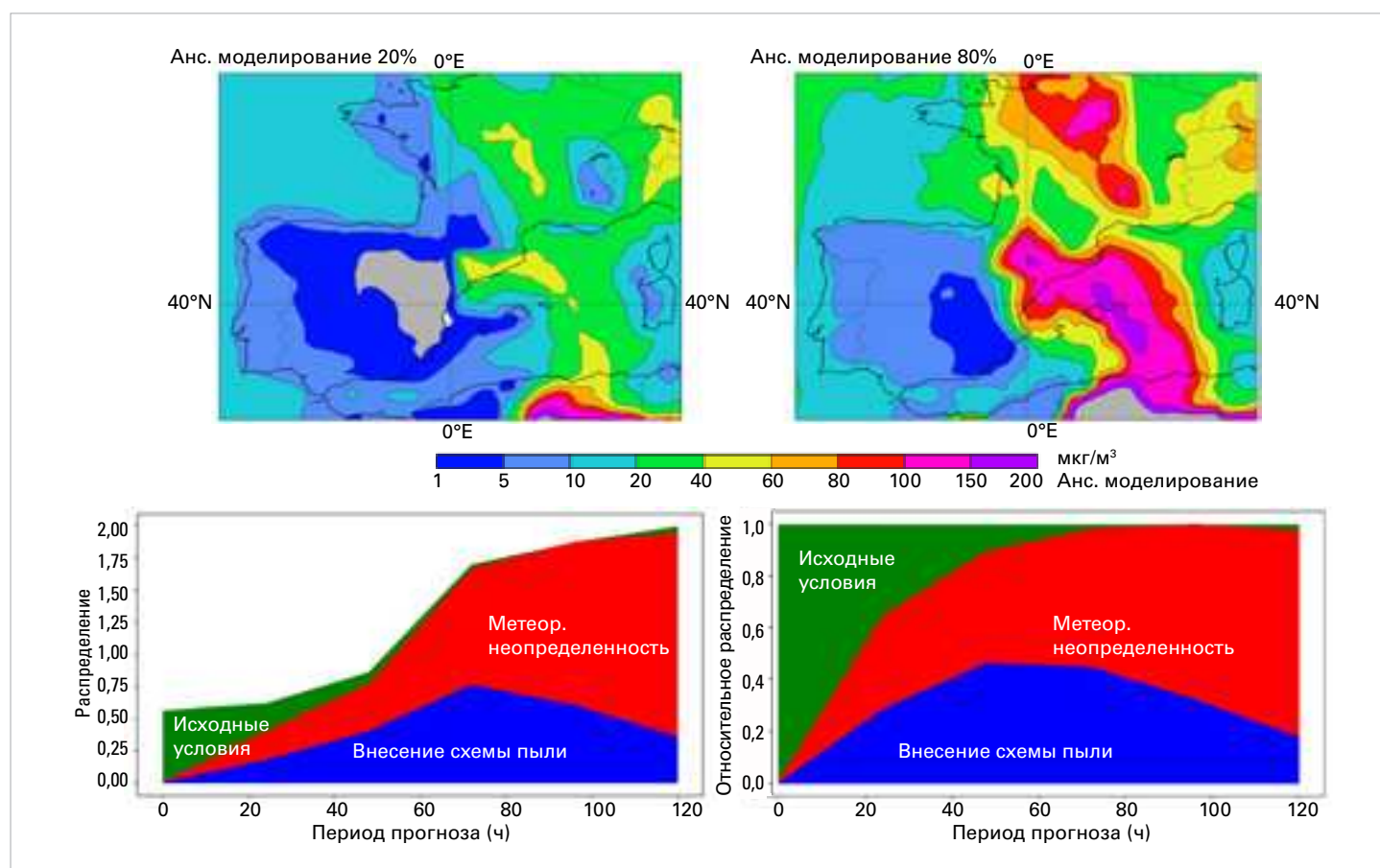


Рисунок 8. Верхняя часть: моделирование частиц PM_{10} 21 февраля 2021 г., 12:00 UTC (прогноз на 84 ч) с помощью экспериментального ансамблевого моделирования IFS-COMPO: 20-й перцентиль (верхняя левая часть) и 80-й перцентиль (верхняя правая часть). Нижняя часть: прогнозные источники неопределенности смоделированных частиц PM_{10} в виде функции периода прогноза, оцененные несколькими итерациями ансамблевого моделирования IFS-COMPO, для региона, показанного вверху, и для моделирования, начинающего 19 февраля 2021 г., 00:00 UTC. Источниками неопределенности являются исходные аэрозольные условия (зеленый), метеорологические неопределенности (красный) и внесение схемы пыли (синий). Абсолютная прогнозная неопределенность показана в левой нижней части, а относительная неопределенность для каждого источника — в правой. Влияние антропогенных выбросов на разброс по ансамблю в данном случае незначительно и не приведено.

ансамблю) в моделировании частиц PM_{10} над регионом, охватывающим Испанию, Францию и западный регион Средиземного моря. Исходные аэрозольные условия являются единственным источником неопределенности в момент периода прогноза 0 ч, но их относительный вклад стремительно уменьшается с течением периода прогноза и становится незначительным после 48 часов. Неопределенности, связанные с моделируемой метеорологией, растут с периодом прогноза и становятся определяющими после периода прогноза 72 ч, составляя от 50 до 80 % от суммарной неопределенности для периода прогноза между 72 и 120 ч. Именно неопределенности, связанные с внесением схемы пыли, увеличиваются до максимального значения 40 % при периоде прогноза между 48 и 72 ч, в момент пика моделируемого пылевого явления, и затем уменьшаются до 20 % неопределенности при периоде прогноза 120 часов.

На пути к оперативной региональной системе ассимиляции данных о запыленности

Ассимиляция спутниковых наблюдений сегодня является обычным явлением в центрах, обеспечивающих глобальные прогнозы минеральной пыли. Большая часть подобных центров используют данные наблюдений, полученные с помощью радиометра с формированием изображений со средним разрешением (MODIS), который уже более двух десятилетий предоставляет высококачественные ежесуточные данные об ОПА. В связи с запланированным на 2026 год завершением программы MODIS большинство прогностических центров перешли на использование данных наблюдений, полученных с помощью радиометрического блока для получения изображений в видимом/ИК-диапазонах (VIIRS), который обеспечивает характеристики, аналогичные MODIS, и, как ожидается, продолжит работу после 2030 года.

Эталонная прогностическая система в Региональном центре ВМО по контролю за запыленностью в Барселоне основана на модели MONARCH. Текущие шаги по улучшению характеристик связанной с пылью продукции в MONARCH включают в себя испытания ассимиляции

аэрозольных данных VIIRS Deep Blue V2 (AOD550), полученных со спутника NOAA-20 во времени, близком к реальному. После опубликования работы Эскрибано (Escribano et al. (2022)) стала испытываться работа фильтра Калмана с локальным ансамблевым преобразованием (LETKF) на ансамбле из 12 прогнозов с возмущенными выбросами пыли модели MONARCH. Все полученные данные об ОПА с VIIRS, собранные над областью моделирования, сначала фильтруются по данным о пыли при помощи флага запыленности, а затем усредняются по сетке с разрешением 10 км. Результатом ассимиляции являются 24-часовой временной ряд скорректированных концентраций пыли за прошедший день и начальное условие на 00:00 BCB для последующего прогноза. После инициализации модели с пылевым полем, которое лучше соответствует спутниковым наблюдениям, ключевой вопрос заключается в том, как долго ассимиляционные поправки будут оказывать положительное влияние на прогноз. На рисунке 9 показана средняя разница между данными об ОПА от VIIRS и модельным эквивалентом над Северной Африкой, Ближним Востоком и Европой в течение пятидневного периода испытаний в январе 2024 года (ассимиляция данных выполнялась только в течение первых трех дней). На графике видно, что влияние инициализации VIIRS хорошо заметно в течение первого дня прогноза (DA-FCST D0); оно быстро исчезает через 24 часа (DA-FCST D1), но все еще обеспечивает меньшее смещение, чем текущий оперативный прогноз (OPER-FCST).

В настоящее время в Региональном центре ВМО по контролю за запыленностью в Барселоне в предоперативном режиме проводится ассимиляция наблюдений VIIRS на ежедневной основе, перед Центром стоит задача начать ее полную эксплуатацию осенью 2024 года и заменить фактический прогноз пыльных бурь.

Влияние каменистого покрова

Более 50 % пустынь Земли покрыты камнями, что препятствует распространению ППБ. Поскольку частицы пыли влияют на изменение климата, изучение этих

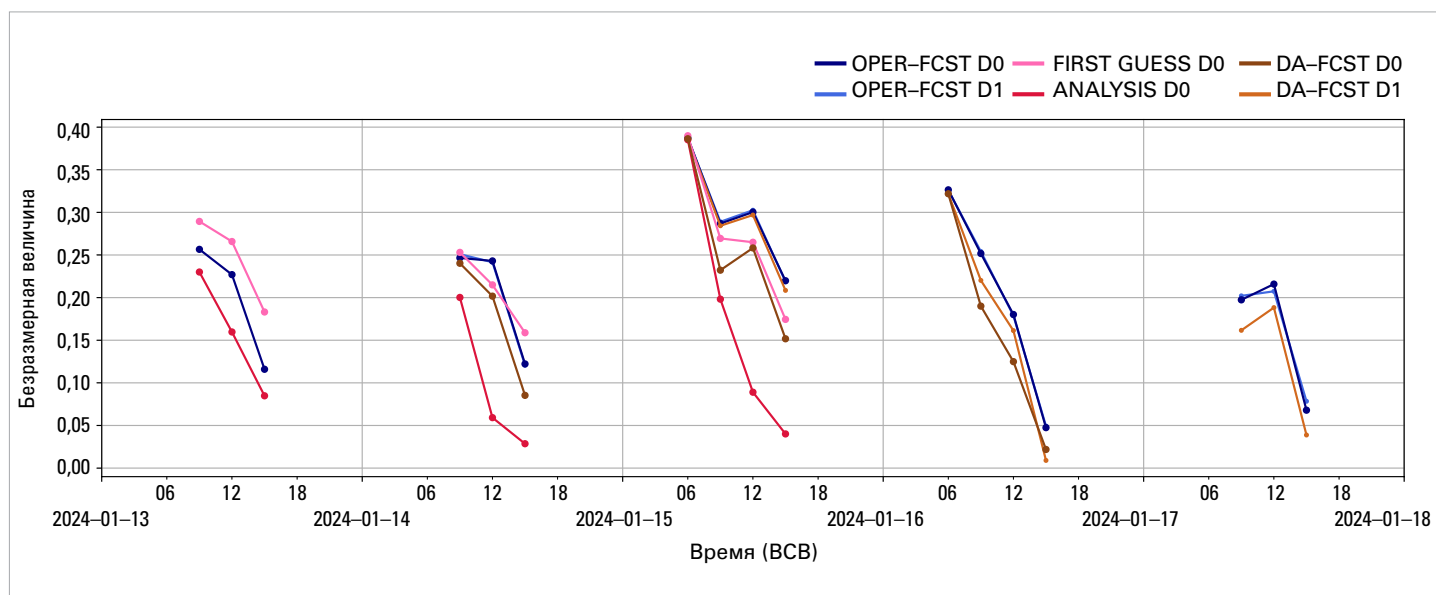


Рисунок 9. Средняя разница между данными об ОПА от VIIRS на 550 нм и модельной эквивалентной оптической плотности пыли для анализа (красный), для различных заблаговременных периодов прогноза (D0 — заблаговременность прогноза <24 ч, D1 — заблаговременность прогноза от 24 до 48 ч)

Источник: MONARCH

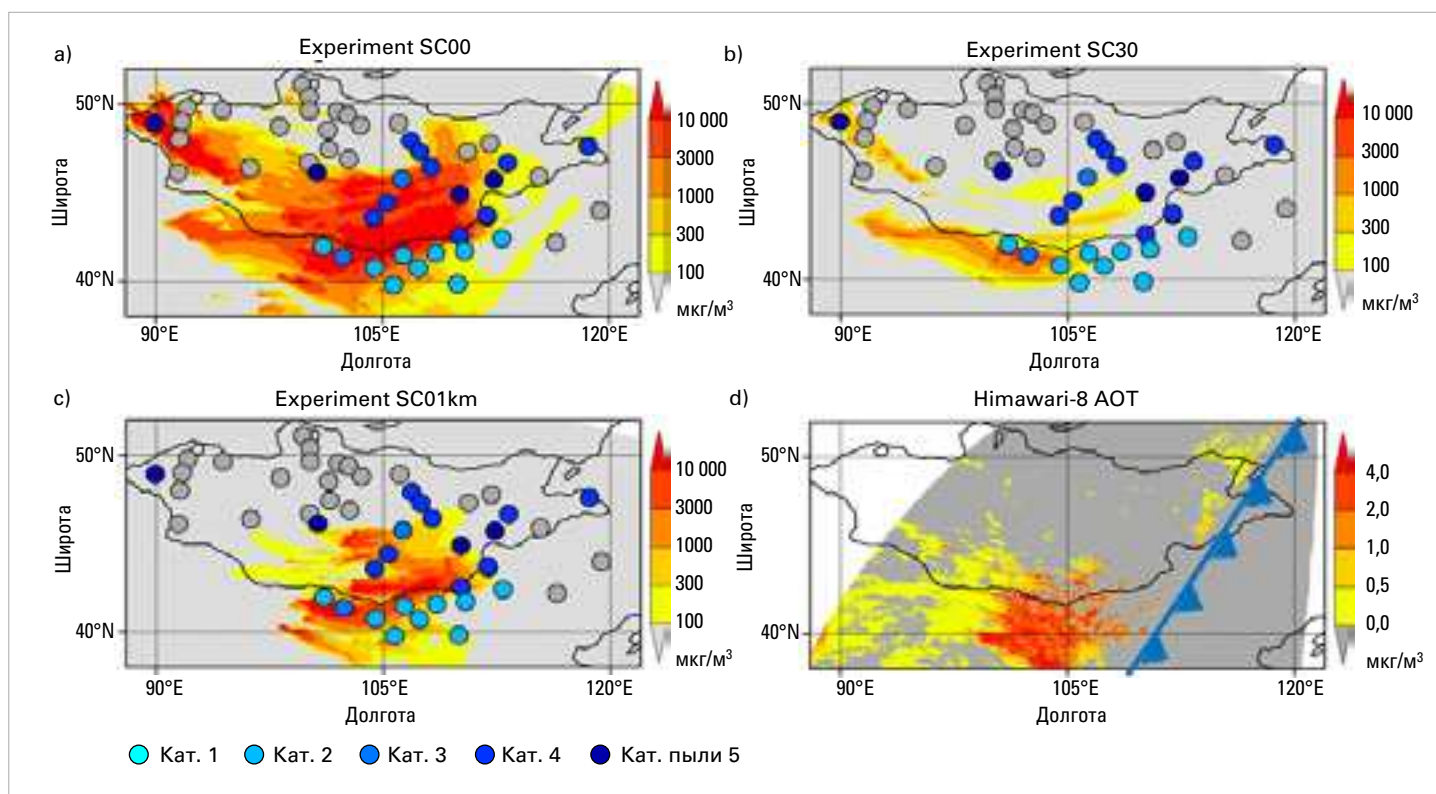


Рисунок 10. Смоделированные приземные концентрации пыли (мкг/м³) и сообщения SYNOP о содержании пыли (синие окружности) в 09:00 ВСВ 3 мая 2017 года для а) эксперимента на бескаменистом покрове б) эксперимента с равномерным 30 % каменистым покровом и с) эксперимента с каменистым покровом на сетке в 1 км. Каменистый покров 30 % является средним показателем для пустыни Гоби. Серыми кружками отмечены обсерватории, которые сообщили о явлениях, не связанных с пылью. д) Наблюдение оптической толщины аэрозолей со спутника Himawari-8, совмещенное с приблизительным расположением холодного фронта.

Источник: Рисунок взят из работы Sekiyama et al. (2023)

поверхностей имеет решающее значение. Впервые схема моделирования ППБ, включающая влияние каменистого покрова, была опробована Секиямой в работе Sekiyama et al. (2023). Математическое описание вопроса о влиянии каменистого покрова было основано на наблюдениях в Восточной Азии и данных массива SoilGrids 2.0. Моделирование метеорологических условий и запыленности проводилось с 00:00 ВСВ 29 апреля 2017 года по 00:00 ВСВ 7 мая 2017 года. Моделирование показало снижение количества пыльных бурь в районах с более интенсивным каменистым покровом и увеличение их количества в районах с более низкой плотностью покрова. Этот результат моделирования совпал с данными наблюдений SYNOP, полученными метеостанциями в Китае и Монголии (рисунок 10). Кроме того, результаты спутниковых измерений загрязнения воздуха также подтверждают эти наблюдения и результаты моделирования. Это стало первым успешным исследованием влияния каменистого покрова на процесс моделирования пыльных бурь с использованием реалистичной карты каменистого покрова.

Прогнозирование сезонного запыления

Корейская метеорологическая администрация (КМА) включила процесс выброса песка и пыли в свою оперативную модель прогнозирования климата (версия модели глобального сезонного прогнозирования GloSea6). С августа 2022 года в КМА работает система расчета концентрации частиц пыли PM10 в режиме реального времени, которая учитывается в прогнозах запыленности в Азии. В 2023 году, используя выходную продукцию модели, КМА подготовила информацию для

прогнозирования сезонной запыленности в Азии для Республики Кореи в весенний период, классифицировав ее как «выше нормы», «около нормы» и «ниже нормы» по сравнению со средней величиной климатического периода модели GloSea6 (1993—2016 гг.). Среднее количество азиатских пылевых дней весной 2023 года в Республике Корею составило 19, что соответствует категории «выше нормы». Прогнозируемое значение

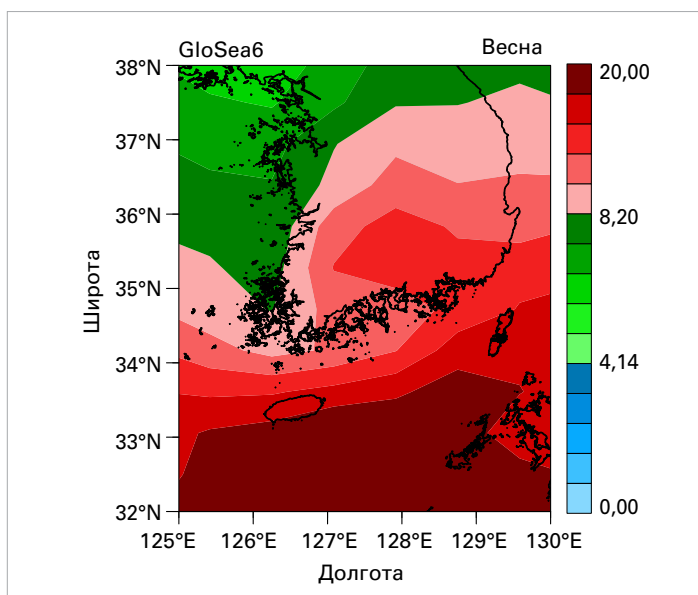


Рисунок 11. Пространственное распределение прогнозируемых азиатских пылевых дней Республике Корею весной 2023 года. Три цвета контуров представляют три категории для прогнозирования сезонной запыленности в Азии: «выше нормы» (красный), «около нормы» (зеленый) и «ниже нормы» (синий).

составляло 9,78, что также попадает в категорию «выше нормы». Пространственное распределение прогнозных данных указывает на увеличение количества азиатских пылевых дней в южном регионе Республики Кореи, а большинство районов входят в категорию «выше нормы», что соответствует результатам наблюдений (рисунок 11). Этот результат подтверждает способность модели GloSea6 генерировать выходную продукцию для сезонного прогнозирования запыленности в Азии в весенний период. КМА создала возможность осуществлять прогнозирование сезонной запыленности в Азии в любое время, предоставляя информацию о прогнозе запыленности в Азии в непрерывном режиме.

Пыль и система Земля: взаимодействие пыли и океана

Недавно проведенное исследование (Rodríguez et al., 2023) показало, что осаждение пыли из Сахары в открытых водах Атлантического океана влияет на промысел

полосатого тунца (*Katsuwonus pelamis*). Осаждение пустынной пыли в водах открытого океана приводит к поступлению железа, фосфора и биорелевантных микроэлементов, способствующих росту фитопланктона. Полученное новое органическое вещество передается по всей пищевой сети, от мелких рыб до крупных хищников, благоприятствуя развитию всей морской экосистемы. Пыль играет важную роль в международном управлении рыболовством. За период с 1950-х по 2020-е годы ежегодный улов атлантического полосатого тунца увеличился с менее чем 1000 тонн в среднем до 250 000 тонн. В 1990-х и 2000-х годах улов полосатого тунца в восточной части Атлантического океана был примерно в восемь раз выше, чем в западной части. В действительности, в последнее десятилетие улов в восточной части Атлантического океана составлял 89 % от общего улова в Атлантическом океане (рисунок 12), что свидетельствует о наличии у берегов Западной Африки большой биомассы полосатого тунца, поддерживаемой пыльным удобрением.

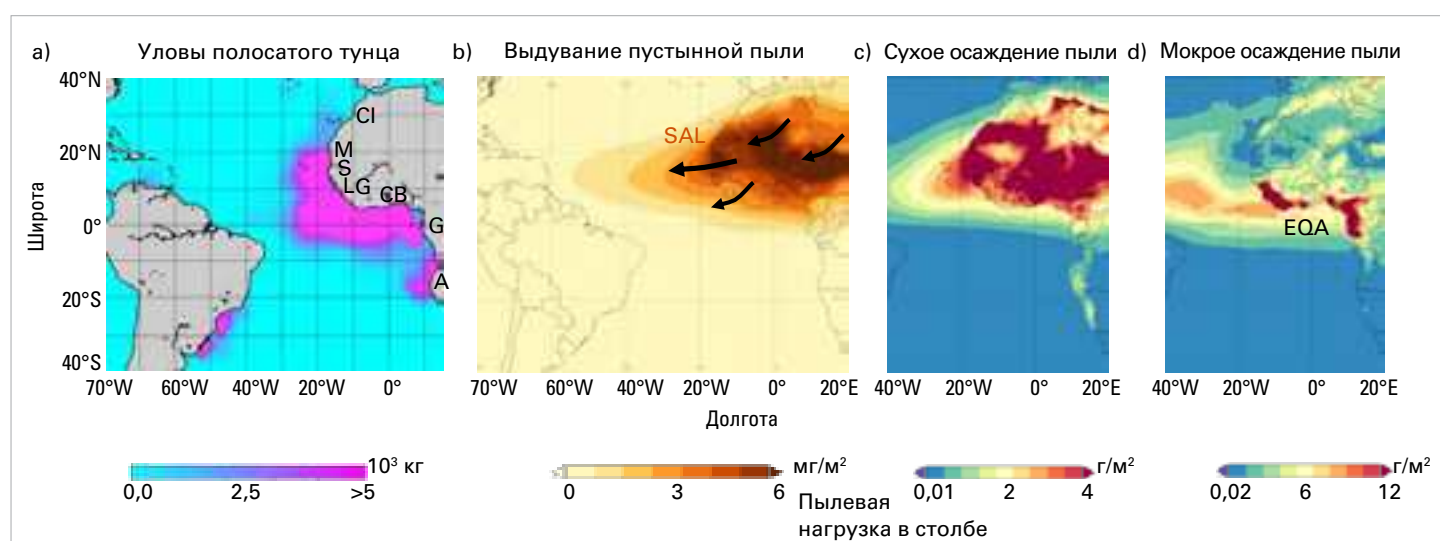


Рисунок 12. Пространственное распределение средних а) уловов полосатого тунца по данным Международной комиссии по сохранению атлантических тунцов (ИККАТ); б) пылевая нагрузка в атмосферном столбе по данным реанализа MERRA-2 с выделением пыльного воздушного потока в слое воздуха Сахары (СВС); в) сухое осаждение атмосферной пыли, накопленной за 1 год, по данным реанализа MERRA-2; д) мокрое осаждение атмосферной пыли, накопленной за 1 год, по данным реанализа MERRA-2

Источник: по материалам Rodríguez et al. (2023)

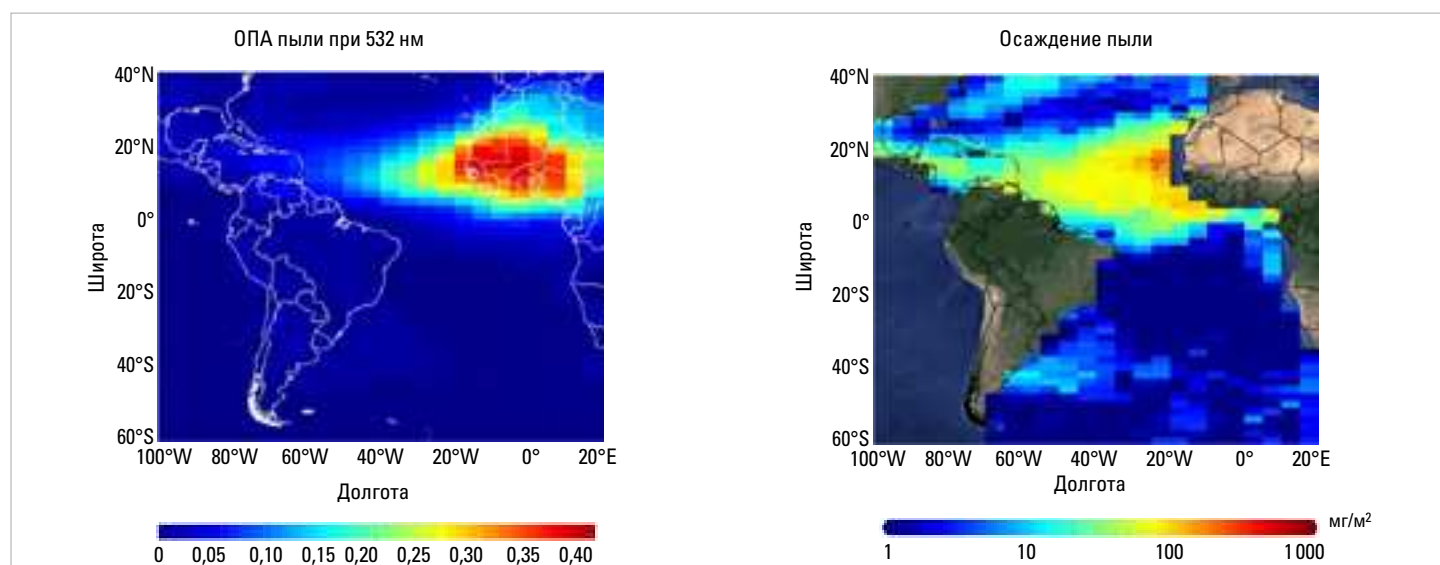


Рисунок 13. Наблюдения над Атлантическим океаном. Среднегодовая ОПА пыли на 532 нм (слева) и продукция скорости осаждения пыли из массива DOMOS (справа) для периода 2007—2020 гг.

Предоставлено: Эммануилом Проестакисом (NOA)

В ходе многостороннего исследования моделей пыль-океан 4D-Atlantic Dust-Ocean Modelling & Observing Study (DOMOS) был получен новый массив спутниковых данных, содержащий данные об оптической глубине пыли и ее осаждении над бассейном Атлантического океана за период 2007—2020 годов (рисунок 13), который был оценен в свете существующих массивов данных об осаждении. Новый массив данных об осаждении DOMOS показывает завышенную оценку по сравнению с редко осуществляемыми наземными измерениями. Возможно — это результат допущений, сделанных в отношении размера частиц пыли и их рассеивающих свойств. Эти новые массивы данных о наблюдаемом осаждении используются для поддержки исследований, связанных с циклом пыли и его связями с атмосферными процессами, а также биогеохимией океана. Для изучения реакции океана на изменения источников железа была использована смоделированная реконструкция осаждения пыли и железа из модели EC-Earth3-Iron за период 1991—2020 гг. Пыль остается самым важным источником железа, а ископаемые виды топлива, как и сжигание биомассы, продолжают приобретать все более важную роль, особенно зимой. Применение новых массивов данных об осаждении пыли и железа в модели биогеохимии океана показало, что первичная продукция фитопланктона, вопреки ожиданиям, не увеличивается там, где масштаб осаждения выше. Однако наблюдается общее увеличение накопления железа в океане, что может повлиять на сезонность первичной продукции фитопланктона и, следовательно, изменить климатическую обратную связь с океаном.

Для получения более точной и своевременной продукции по осаждению необходимы дополнительные наблюдения, такие как предстоящие наблюдения с помощью лидаров спутников EarthCARE и Aeolus. Массив DOMOS показал важность независимых наблюдений для оценки продукции, получаемой со спутников. Заякоренные буи и судовые наблюдения в открытых районах океана имеют ключевое значение для этой деятельности по калибровке и оценке, поскольку они развернуты в районах, где наземные эталонные измерения практически отсутствуют.

Прочие новости

Новый Региональный узел СДС-ВАС Совета сотрудничества стран Залива (ССЗ)

В 2023 году СДС-ВАС ВМО приветствовала создание Регионального узла Совета сотрудничества стран Залива



Рисунок 14. Региональная руководящая группа СДС-ВАС Совета сотрудничества стран Залива (ССЗ)

Источник: Национальный метеорологический центр, Саудовская Аравия

(ССЗ) с соответствующим региональным центром в Джидде. Региональный центр в Джидде располагается в Национальном центре метеорологии Саудовской Аравии. Региональный узел представляет шесть стран региона (Бахрейн, Саудовская Аравия, Кувейт, Оман, Катар и Объединенные Арабские Эмираты), а его председателем является Джумаан аль-Кахтани (Саудовская Аравия). Региональный узел ВМО СДС-ВАС ССЗ способствует наращиванию потенциала в регионе, предоставляя платформу для сбора и объединения экспертов, ученых и лиц, определяющих политику, в интересах достижения общей цели. Содействие региональному сотрудничеству позволит постепенно проложить путь к устойчивым решениям и повышению региональной устойчивости в регионе.

Модернизация Барбадосской обсерватории химии атмосферы (БОХА)

Барбадосская обсерватория атмосферной химии (БОХА) при Университете Майами была основана почетным профессором Джозефом Просперо в Раггед Пойнт, Барбадос, в 1971 году. Стоит отметить, что уровень запыленности на юго-восточном побережье острова измеряется с 1960-х годов, после того как Просперо и Тоби Карлсон обнаружили, что пассаты переносят пыль из Сахары через Атлантический океан. Недавно д-р Кассандра Гастон, специалист по химии атмосферы из Университета Майами, факультет наук о море, атмосфере и Земле имени Розенштиля, который теперь руководит работой БОХА, получила грант Национального научного фонда (ННФ) в размере 1 млн долл. США на модернизацию научного комплекса (<https://globalmiamimagazine.com/rebirth-for-barbados-observatory/>). Модернизация включала замену башни высотой в 3,5 этажа и приобретение ряда новых приборов, таких как монитор микроконцентраций металлов и прибор для определения химического состава аэрозолей. Обновленный комплекс



Рисунок 15. Демонтаж старой башни (слева); д-р Гастон на вершине вновь возведенной башни (справа), конец января 2024 г.

Источник: Карибский институт метеорологии и гидрологии (КИМГ) и Университет Майами

(рисунок 15) позволит проводить более точные измерения следующих загрязняющих веществ: твердые частицы, дым, черный углерод и океанические выбросы, что приведет к усовершенствованию моделей атмосферы.

12 июля — Международный день борьбы с песчаными и пыльными бурями

Международный день борьбы с песчаными и пыльными бурями отмечается 12 июля во всем мире, его цель — повысить осведомленность всего мира о растущих проблемах здравоохранения и окружающей среды, связанных с ППБ. Памятные мероприятия стали проводиться после принятия Генеральной Ассамблеей Организации Объединенных Наций резолюции 8 июня 2023 года.

В рамках первого мероприятия, посвященного этому международному дню, постоянные представительства Ирака, Исламской Республики Иран и Сенегала совместно организовали прием в Организации Объединенных Наций в Нью-Йорке, на котором выступили представители организаций, сотрудничающих в рамках Коалиции Организации Объединенных Наций по борьбе с песчаными и пыльными бурями. Партнеры коалиции содействовали проведению мероприятий по всему миру, чтобы подчеркнуть актуальность этого экологического кризиса, вызванного в основном изменением климата, обусловленного деятельностью человека, опустыниванием, деградацией земель и засухой. Четыре региональных узла ВМО СДС-ВАС провели ряд региональных вебинаров, в которых приняли участие заинтересованные стороны из разных регионов.

Библиография

Cuevas-Agulló, E.; Barriopedro, D.; García, R. D. et al. Sharp Increase in Saharan Dust Intrusions over the Western Euro-Mediterranean in February–March 2020–2022 and Associated Atmospheric Circulation. *Atmospheric Chemistry and Physics* **2024**, 24 (7), 4083–4104. <https://doi.org/10.5194/acp-24-4083-2024>.

Escribano, J.; Di Tomaso, E.; Jorba, O. et al. Assimilating Spaceborne Lidar Dust Extinction Can Improve Dust Forecasts. *Atmospheric Chemistry and Physics* **2022**, 22 (1), 535–560. <https://doi.org/10.5194/acp-22-535-2022>.

Gelaro, R.; McCarty, W.; Suárez, M. J. et al. The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2). **2017**. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0758.1>.

Klose, M.; Jorba, O.; Gonçalves Ageitos, M. et al. Mineral Dust Cycle in the Multiscale Online Nonhydrostatic Atmosphere Chemistry Model (MONARCH) Version 2.0. *Geoscientific Model Development* **2021**, 14 (10), 6403–6444. <https://doi.org/10.5194/gmd-14-6403-2021>.

Liu, L.; Wang, Z.; Che, H. et al. Climate Factors Influencing Springtime Dust Activities over Northern East Asia in 2021 and 2023. *Atmospheric Research* **2024**, 303, 107342. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2024.107342>.

Prospero, J. M.; Collard, F.-X.; Molinié, J. et al. Characterizing the Annual Cycle of African Dust Transport to the Caribbean Basin and South America and Its Impact on the Environment and Air Quality. *Global Biogeochemical Cycles* **2014**, 28 (7), 757–773. <https://doi.org/10.1002/2013GB004802>.

Rodríguez, S.; Riera, R.; Fonteneau, A. et al. African Desert Dust Influences Migrations and Fisheries of the Atlantic Skipjack-Tuna. *Atmospheric Environment* **2023**, 312, 120022. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.120022>.

Sekiyama, T. T.; Kurosaki, Y.; Kajino, M. et al. Improvement in Dust Storm Simulation by Considering Stone Coverage Effects for Stony Deserts in East Asia. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* **2023**, 128 (2), e2022JD037295. <https://doi.org/10.1029/2022JD037295>.

World Meteorological Organization (WMO). *State of the Climate in Asia 2022* (WMO No. 1321). Geneva, 2023.

World Meteorological Organization (WMO). *WMO Airborne Dust Bulletin*, No. 7; WMO: Geneva, 2023.

Zuidema, P.; Alvarez, C.; Kramer, S. J. et al. Is Summer African Dust Arriving Earlier to Barbados? The Updated Long-Term In Situ Dust Mass Concentration Time Series from Ragged Point, Barbados, and Miami, Florida. *Bulletin of the American Meteorological Society* **2019**, 100 (10), 1981–1986. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-18-0083.1>.

Веб-сайты и контактная информация ВМО СДС-ВАС

ВМО СДС-ВАС:

<https://community.wmo.int/en/activity-areas/gaw/science-for-services/sds-was>

Эл. почта: gaw@wmo.int

Региональный центр для Северной Африки, Ближнего Востока и Европы (NAMEE):

<http://dust.aemet.es>

Эл. почта: dust@aemet.es

Региональный центр для Азии:

<http://www.asdf-bj.net/>

Эл. почта: xiaoye@cma.gov.cn

Региональный центр для Америки:

<http://sds-was.cimh.edu.bb/>

Эл. почта: asealy@cimh.edu.bb

Региональный центр для стран Совета сотрудничества стран Залива (CC3):

<http://dust.ncm.gov.sa/>

Эл. почта: sdsc@ncm.gov.sa

Редакционный совет

Андреа Сили (Карибский институт метеорологии и гидрологии (КИМГ)), Дэниел Тонг (Университет Джорджа Мейсона), Сяо Чжан (Китайская академия метеорологических наук (КМА)), Слободан Никович (Республиканская гидрометеорологическая служба Сербии), Ана Вукович Вимич (Белградский университет), Такаши Маки (Метеорологический НИИ Японского метеорологического агентства (ЯМА)), Джумаан Саад аль-Хахтани (Национальный центр метеорологии (НЦМ)) и Сара Басарт (ВМО)

Все авторы (в алфавитном порядке)

Мелани Адес, Белхаит аль-Муаиди, Сара Аттарчи, Ребекка Чуитт-Лукас, Тьерри Элиас, Эммануэль Эмили, Дэвид Фаррелл, Йоханнес Флемминг, Херардо Гарсия-Кастрильо, Кассандра Гастон, Хюн Сок Кан, Савиз Сехат Кашани, Гуй Кэ, Линь Лю, Алаа Мхасвиш, Хуэйцун Нин, Мехди Рахнама, Сэмюэль Реми, Лу Жэнь, Эшфорд Рейес, Серхио Родригес, Цуёши Томас Сэкияма, Хун Ван, Яцян Ван, Чжили Ван, Эрнест Вернер

Всемирная метеорологическая организация

<https://wmo.int/>