



Песчаная буря, охватившая здания миссии Африканского союза и Организации Объединенных Наций в Северном Дарфуре, г. Эль-Фашир, Судан
Фотография предоставлена: UNAMID/Adrian Dragnea

Песчаные и пыльные бури: преодоление последствий глобального явления

Вторжение песка и пыли

В 2010 году власти Китая издали предупреждение о загрязнении окружающей среды пятого уровня в связи с перемещением масштабной пыльной бури из Монголии и северной части Китая в направлении Пекина, разразившейся над территорией площадью 810 000 квадратных километров и создавшей угрозу 250 миллионам человек.¹ В мае 2016 года череда масштабных песчаных бурь пронеслась над административным районом Риган в юго-восточной части Ирана, засыпав 16 деревень и причинив ущерб в размере 9 млн долл. США.² Через несколько месяцев мощные облака пыли и песка поглотили Абу-Даби, уменьшив видимость в этом городе до 500 метров и увеличив число госпитализированных пациентов, страдающих от астмы, на 20 процентов.^{3,4} Вот лишь несколько примеров недавних опасностей и ущерба, приносимых песчаными и пыльными бурями во многих частях мира. История человечества изобилует множеством других примеров.⁵

Песчаные и пыльные бури возникают в тех случаях, когда сильные вихри захватывают песок и пылевидные фракции грунта на засушливых и полусушливых территориях и затем выбрасывают их в воздушной среде. Песчаные бури перемещаются относительно близко к поверхности земли, а размер частиц, наряду со скоростью ветра, ограничивают расстояние, на которое каждая из частиц способна переместиться. Пыльные бури поднимают значительные количества тонкодисперсных пылевидных частиц и мелких частиц глины, выбрасывая их в более высокие слои атмосферы.⁶

Пыльные бури могут перемещаться на тысячи километров над континентами и океанами, захватывая на своем пути другие загрязняющие вещества и осаждая частицы далеко от места своего зарождения. Ветры переносят пыль из Сахары — самого значительного источника — на запад в Северную и Южную Америку, на север в Европу и на восток в Китай.⁶ А бури, зарождающиеся в Центральной Азии и Китае, достигают Корейского полуострова, Японии, тихоокеанских островов, Северной Америки и территорий за их пределами.

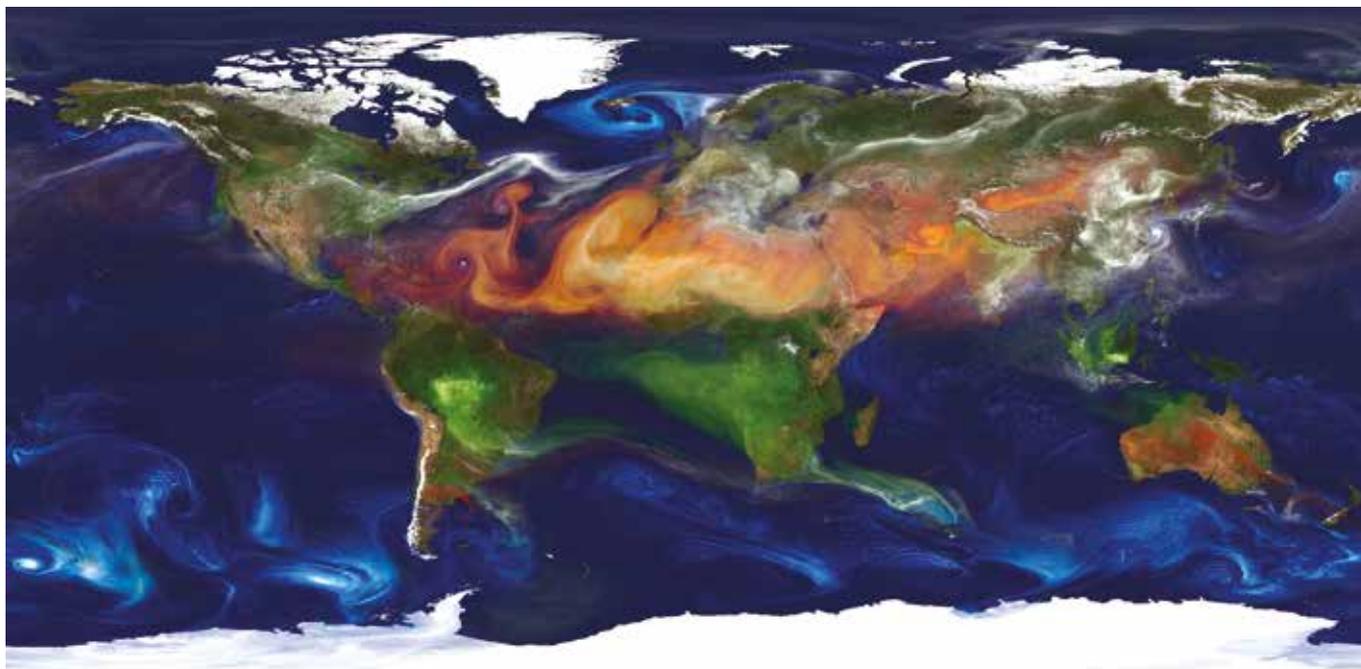


В одном из исследований, проведенных в 2003 году, было отслежено, что шлейф загрязнения крупными количествами пыли, поднятой в воздух в 1990 году в Китае, достиг Альп в Европе, пройдя в восточном направлении более 20 000 километров за две недели.⁷ Пыль играет важную роль в биохимических процессах экосистем Земли. Она служит исходным материалом для широчайшего распространения лёссовых пород.⁸ Осаждение минеральной пыли обеспечивает наземные и морские экосистемы питательными веществами, такими как железо и другие микроэлементы, стимулируя рост первичной продуктивности и фитопланктона.⁹ Пыль Сахары служит природным удобрением для влажных тропических лесов Амазонии, привнося в почву фосфор в количествах, компенсирующих его потери в результате речного стока.¹⁰ Аналогичным образом, влажные тропические леса на Гавайских островах получают питательные вещества благодаря пыли из Центральной Азии.¹¹ Наряду с этим, пыль из Африки и Азии может причинять ущерб коралловым рифам в Карибском море.¹²

Пыль также может наносить вред здоровью животных и человека, особенно в засушливых и полусухих районах. В случае человека, вдыхание мелких частиц пыли может стать причиной

астмы, бронхита, эмфиземы и силикоза или обострять их течение.¹³ Еще более тонкодисперсные частицы способны также переносить с собой широкий спектр загрязняющих веществ, спор, бактерий, грибов и аллергенов. Другие широко распространенные проблемы включают инфекционные заболевания глаз, раздражения кожи и пустынную лихорадку. В странах Сахеля существует тесная взаимосвязь между пыльными массами, приносимыми из Сахары, и вспышками менингита.¹⁴ Хроническая подверженность воздействию тонкодисперсной пыли способствует преждевременной смерти от респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний, рака легких и острых инфекционных заболеваний нижних дыхательных путей.¹⁵

Другие виды социально-экономического ущерба связаны с последствиями пыльных бурь.¹⁶⁻¹⁹ Краткосрочные издержки включают заболевания и гибель домашнего скота, уничтожение посевов, повреждение зданий и других объектов инфраструктуры, перебои в работе транспорта и дорогостоящий вывоз многих тонн осадочных пород. Экономические потери от одной-единственной бури могут исчисляться сотнями миллионов долларов. Более долгосрочные издержки включают эрозию почв, загрязнение экосистем, хронические изнуряющие проблемы со здоровьем и опустынивание.



Картина распределения глобальных аэрозолей, смоделированная в системе GEOS-5 с разрешающей способностью, равной 10 километрам. Пылевые выбросы окрашены коричнево-красным цветом.

Фотография предоставлена: William Putman, NASA/Goddard Space Flight Center

Движущие силы, порождаемые природой, бесхозяйственным землепользованием и изменением климата

Пылевые явления отличаются значительным разнообразием в динамике по времени и происходят, например, ежесезонно, ежегодно, каждое десятилетие или один раз за несколько десятков лет.²⁰ В одном из исследований 2012 года были проанализированы данные космической съемки за период 2003–2009 годов в сопоставлении с результатами аналогичного анализа данных, полученными в предыдущие периоды, и возникли основания предположить, что за три предшествующих десятилетия в Австралии, Центральной Азии и Высоких равнинах США произошли значительные изменения, тогда как пылевые события в Северной Африке, на Ближнем Востоке и в Южной Америке оставались на одном и том же уровне активности.^{21, 22} Дальнейшие исследования показали, что эти регионы подвержены частым пылевым явлениям высокой интенсивности, таким как бури и мгла, порождаемым как природными, так и антропогенными причинами.^{21–23}

Антропогенные причины, на долю которых приходится примерно 25 процентов глобальных выбросов пыли, происходят в результате изменений порядка землепользования, включающих чрезмерный забор воды и перенаправление водных ресурсов на цели орошения, что приводит к полному высыханию водоемов, а также по причине обезлесения и экологически нерациональной практики ведения сельского хозяйства, что подвергает почвы эрозии под воздействием ветра. Все это представляет собой различные формы деградации земель. В районах неорошаемого земледелия, где сельскохозяйственные почвы перепахиваются слишком часто и слишком глубоко, а стерня удаляется, почвы остаются подверженными внешнему воздействию. Ликвидация живых изгородей и ветрозащитных лесополос в целях создания условий для применения более производительной сельскохозяйственной техники способствует выдуванию почвы ветром. Чрезмерный выпас скота на пастбищных угодьях приводит к утрате почвенного покрова. Там, где почвы не защищены наземным покровом, ветры выдувают мелкие частицы, содержащие значительную часть питательных веществ и гумуса почвы. Результаты имитационного моделирования дают основания предположить, что на глобальном уровне выбросы пыли в атмосферу по причине сочетанного воздействия землепользования и изменения климата увеличились с 1900 года на 25–50 процентов.²⁴

В каждом из подверженных риску пылевых явлений регионов взаимосвязь между деятельностью человека и увеличением количеств пыли проявляется наглядно, а в отдельных случаях осязаемо. Источником пыли в Калифорнии служит озеро Оуэнс (высохшее), которое было обезвожено в результате водоотвода через Лос-Анджелесский акведук, проложенный в 1913 году.²⁵ Патагония, расположенная в южной части Аргентины, стала крупным антропогенным источником пыли в результате опустынивания по причине экологически нерационального пастбищного скотоводства.²⁶ Индо-Гангский бассейн является основным источником пыли в Южной Азии, порождаемой интенсивными методами ведения сельского хозяйства.²² В Австралии расчистка местности и спрос на воду для сельскохозяйственных целей нарушили гидрологический режим

Сокращение площади Аральского моря в период 2000–2013 годов. После десятилетий крупномасштабного водоотвода Аральское море высохло и стало активным источником пыли



Выражение признательности
1989 — Глобальная система слежения за ландшафтными покровами, Мэрилендский университет
2003 — Жак Деклуатр, НАСА / Центр космических полетов им. Р. Годдарда
2014 — Джесси Аллен, Земная обсерватория НАСА

и привели к значительному увеличению образования пыли.²⁷ Озеро Балхаш в Казахстане стремительно пересыхает, начиная с 1970 года, после завершения строительства плотины выше по течению реки Или. И, наконец, десятилетия крупномасштабного водоотвода из основных рек этого региона — Сырдарьи и Амударьи — в интересах создания обширных оросительных систем привели к сокращению речного водотока, впадающего в Аральское море, что повлекло за собой обезвоживание и опустынивание по всему региону.²⁸ В настоящее время громадные территории бассейна Аральского моря стали активными источниками ядовитой пыли, загрязненной стойкими остаточными количествами минеральных удобрений и пестицидов, которые были запрещены к использованию десятилетия тому назад.²⁹

Антропогенное изменение климата является одной из важных движущих сил образования пыли в добавление к той, которая образуется естественным образом и по причине нерационального управления землепользованием. Многие регионы, которые в настоящее время являются очагами пылеобразования, вероятно, станут суше и внесут свой вклад в увеличение запыленности атмосферы. В их число входят большинство средиземноморских территорий Африки и Европы, северная Сахара, Западная Азия, Центральная Азия, юго-восточная часть США и южная часть Австралии.^{30, 31} В свою очередь, повышение запыленности атмосферы может повлиять на климатическую систему. Оно может нарушить радиационный баланс Земли, что усилит засухи в засушливых районах.³² С другой стороны, пыль могла бы усилить выпадение атмосферных осадков на некоторых территориях, поскольку она служит затравкой для образования облаков.³³

Песчаные и пыльные бури, таким образом, взаимосвязаны с целым рядом проблем в области экологии и развития, распространяющихся через национальные границы, региональные и континентальные пределы. Антропогенное изменение климата еще более усугубит последствия длящегося десятилетиями нерационального управления землепользованием и эксплуатацией водных ресурсов в регионах, являющихся очагами образования песчаных и пыльных бурь. Эту угрозу можно смягчить путем принятия незамедлительных и эффективных мер.

Источники и воздействия песчаных и пыльных бурь

Изменения в землепользовании, например, в сельском хозяйстве или в результате отвода водных ресурсов и обезлесения, приводят к образованию **25% пыли на глобальном уровне**

С 1900 года объем выбросов пыли в атмосферу по причине деятельности человека **увеличился на 25–50%**

Песчаные и пыльные бури обычно происходят в **засушливых и полусухих районах**

По мере **изменения климата** все более изменчивые и экстремальные явления повышают риск возникновения пыльных бурь

Инициативы в области экологического восстановления земель помогают уменьшить регулярность и интенсивность пыльных бурь на местах

Песчаные и пыльные бури содержат **частицы самых различных фракций**

Песчаные и пыльные бури возникают в тех случаях, когда сильные вихри захватывают песок и пылевидные фракции грунта на засушливых территориях

При вдыхании частицы размером менее **10 микрон** — одной сотой миллиметра — приводят к сердечно-легочным заболеваниям

Засушливые районы, вероятно, станут еще суше и подвергнутся воздействию более частых пыльных бурь, в том числе на **средиземноморском побережье Европы и Африки, в северной части Сахары, Центральной и Западной Азии, на юго-западе США и на юге Австралии**

Концентрации пыли в пыльных бурях достигают **100–1 000 мкг/м³**

Во время пыльной бури в Иране в январе 2017 года концентрации мелких частиц превышали **10 000 мкг/м³**

Согласно рекомендациям ВОЗ, воздух считается безопасным для здоровья при концентрации мелких частиц, не превышающей **50 мкг/м³**

Пыльные бури могут переносить с собой широкий спектр **загрязняющих веществ, спор, грибов, бактерий и аллергенов**. Пыль, приносимая из пустыни Сахара, может становиться причиной вспышек менингита в странах Сахеля.

Пыльная буря на северо-западе Китая в 1993 году привела к гибели почти **120 000 голов домашнего скота**; уничтожила **373 333 гектара посевов сельскохозяйственных культур**; и засыпала более 2 000 км оросительных каналов

Экономические потери от одной-единственной пыльной бури могут исчисляться **сотнями миллионов долларов**

Пыльные бури наносят ущерб посевам сельскохозяйственных культур и приводят к гибели домашнего скота и выдуванию плодородных слоев почвы



Сокращение ущерба посредством сосредоточения внимания в меньших масштабах

В кратко- и среднесрочной перспективе успех усилий по уменьшению опасности песчаных и пыльных бурь будет определяться сосредоточенностью на реализации стратегий защиты.³⁴ Разумеется, системы раннего предупреждения и процедуры уменьшения опасности стихийных бедствий являются крайне важными составляющими обеспечения готовности, и региональные программы совершенствования этих служб находятся в процессе развития. Процедуры, позволяющие принимать меры в связи с песчаными и пыльными бурями в режиме реального времени, включают выдачу рекомендаций коммунальным службам; закрытие школ, аэропортов, железнодорожного сообщения и автодорог; и организацию неотложной помощи в больницах.

Готовность начинается с обеспечения осведомленности широкой общественности о рисках, связанных с песчаными и пыльными бурями, посредством просветительской работы в школах, через средства массовой информации и социальные сети, а также с помощью телевизионных передач. Наряду с этим, в состав мер по обеспечению готовности следует также включать методические указания по физической защите ценных активов, например, путем высаживания растений или возведения барьеров с наветренной стороны населенных районов и жизненно важных объектов инфраструктуры с тем, чтобы осаждение пыли происходило за пределами этих территорий. Некоторые мероприятия, такие как выравнивание автодорог и ликвидация пылесборников, направляют преобладающие ветры и то, что они переносят, в сторону от площадок, нуждающихся в защите.

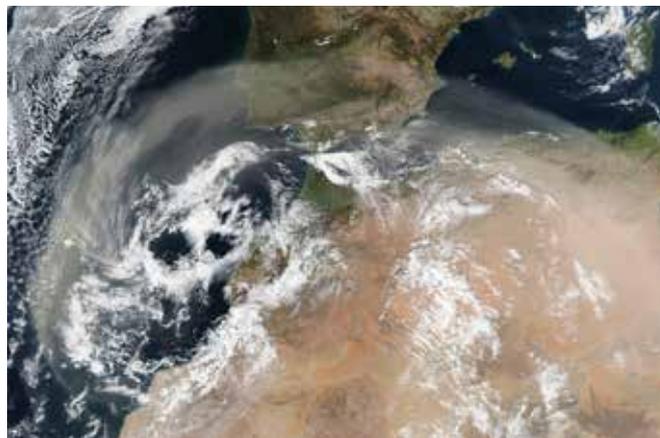
В средне- и долгосрочной перспективе мероприятия по уменьшению опасности песчаных и пыльных бурь следует концентрировать

 **Видеоматериал: Амбициозный проект создания «Великой зеленой стены» в Африке**



Видеоматериал доступен по адресу: https://www.youtube.com/watch?v=jL_nRHg-0I4
 Фотография предоставлена: Воспашивание земли в Сенегале: IFPRI/Milo Mitchell, на условиях лицензии CC BY-NC-ND 2.0

© TIME



Шлейф пыли, переносимый ветрами из Северной Африки в направлении Европы и Атлантического океана, 21 февраля 2017 года

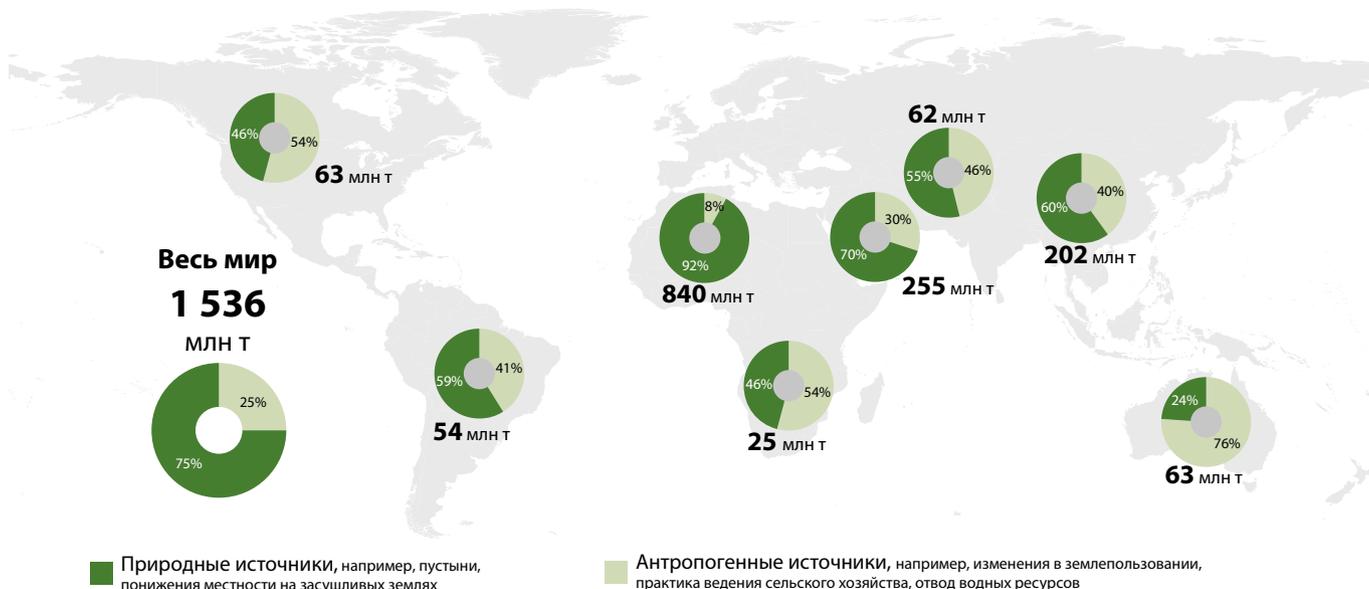
Фотография предоставлена: Фотография НАСА: Jeff Schmaltz, LANCE/EOSDIS Rapid Response

на реализации стратегий предупреждения их последствий путем продвижения экологически рациональных методов управления землепользованием и эксплуатацией водных ресурсов во всех местностях. На этом уровне сфера охвата должна включать пахотные угодья, пастбища, пустыни и городские районы. Такие стратегии следует интегрировать с мерами по адаптации к изменению климата и смягчению его последствий, а также по сохранению биологического разнообразия. Во многих уязвимых регионах этих крайне важных комплексных стратегий на данный момент недостает.³⁴

Программа создания трех защитных лесополос на севере Китая, иногда именуемых «Великая зеленая стена», представляет собой комплексный проект, который реализуется с 1978 года в целях замедления безудержной эрозии почвы, усугубляющей существующие проблемы, которые порождаются наводнениями и пыльными бурями на значительных территориях после десятилетий экологически нерациональной эксплуатации природных ресурсов. Результаты научных исследований и извлеченные уроки дают основание предположить, что сосредоточенность на том, что приносит плоды в общинах и на местах благодаря культивированию местных видов растений, уже адаптировавшихся к условиям конкретной среды обитания, приводит к успеху в тех случаях, когда такие меры осуществляются в их взаимосвязи и в более широких масштабах.³⁵ Такое более глубокое понимание проблемы вновь выдвигает на первый план необходимость действий, направленных на содействие предоставлению экосистемных услуг, таких как производство продуктов питания, связывание углерода, сохранение почвы и запасов воды, смягчение последствий наводнений и защита среды обитания с целью поддержания природного капитала, сохраняющего биоразнообразие, а также предотвращение песчаных и пыльных бурь.³⁶ Результаты наблюдений за ходом создания Великой зеленой стены свидетельствуют о значительных успехах в повышении вегетационного индекса в близлежащих районах и позволяют сделать вывод о том, что эти усилия эффективным образом



Источники выбросов пыли в атмосферу (тонны/год)



Источник данных: Sabot et al. (2012)³²

уменьшили интенсивность пыльных бурь, даже приняв во внимание факторы изменения климата и воздействия антропогенных нагрузок.^{37,38} В пустыне Кубуки, находящейся в районе Внутренняя Монголия, вложения сил и средств частного сектора, государства и общин в дело высаживания местных видов деревьев, кустарников и трав на более чем 5 000 квадратных километров пустынных земель понизили частоту возникновения пыльных бурь и объем сопутствующего ущерба, причиняемого домам и объектам инфраструктуры.³⁹

В Африке инициатива по созданию Великой зеленой стены в Сахаре и странах Сахеля также приводит к успеху благодаря организации работы на местах и в общинах.⁴⁰ Эта инициатива выросла из концептуальной идеи высаживания деревьев в увязке с решением более широких задач устойчивого развития. Так, в Сенегале ее реализация началась с высаживания автохтонных видов растений, не нуждающихся в поливе, на территории более 270 квадратных километров. Позднее здесь вновь появились другие растения и животные, восстанавливающие экосистему. В общинах Мавритании, Чада, Нигера, Эфиопии и Нигерии рыночная плодовоовощная продукция выращивается в полосе, примыкающей к границам засушливых земель, что дает молодому населению работу и причины отказаться от миграции. И вновь следует отметить, что успех этих проектов определяется тщательным отбором видов растений, уже хорошо адаптировавшихся к местным условиям, в полной мере соответствующих имеющимся водным ресурсам и давно известных местным жителям, которые в конечном счете будут нести ответственность за поддержание процессов восстановления и состояние ландшафта.⁴¹

Экономические потери по причине песчаных и пыльных бурь



Многосторонняя поддержка в деле сокращения ущерба, причиняемого песчаными и пыльными бурями

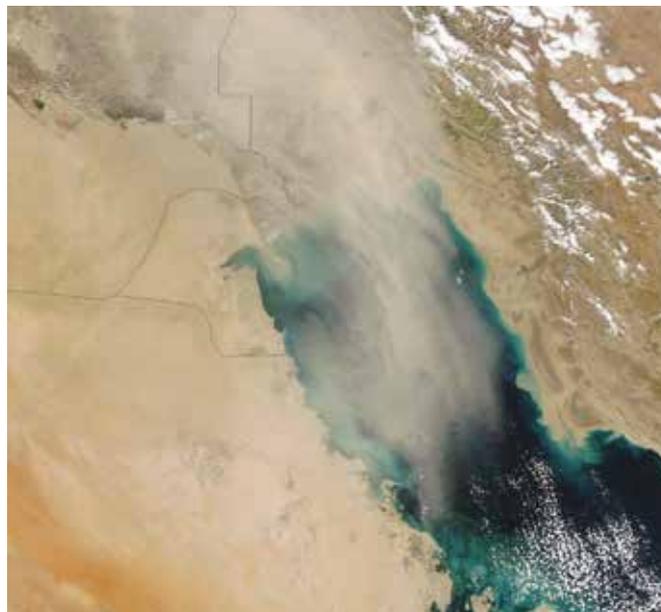
Комплексные стратегии уменьшения опасности песчаных и пыльных бурь основаны на рекомендуемых мероприятиях по сдерживанию деградации земель, утраты наземного биоразнообразия и смягчению последствий изменения климата согласно трем рию-де-жанейрским конвенциям — Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием (КБООН), Конвенции ООН о биологическом разнообразии и Рамочной конвенции ООН об изменении климата, соответственно. При поддержке со стороны Секретариата КБООН, в Западной Азии и Северо-Восточной Азии были разработаны Региональные планы действий в связи с песчаными и пыльными бурями, при этом план для Северо-Восточной Азии уже находится в процессе полномасштабной реализации.⁴²

В рамках каждой из рию-де-жанейрских конвенций оказывается поддержка усилиям по управлению землепользованием и эксплуатацией водных ресурсов, которая предоставляется в партнерстве с соответствующими многосторонними учреждениями и агентствами. Международная сплоченность по этим вопросам нашла свое отражение в Целях устойчивого развития, в частности — в Целях 1, 2, 5, 13 и 15, которые предусматривают принятие мер к обеспечению комплексного управления земле- и водопользованием, а более конкретно — в Целевой задаче 15.3: «К 2030 году вести борьбу с опустыниванием, восстановить деградировавшие земли

 **Видеоматериал: Борьба с опустыниванием: китайские скотоводы преисполнены решимости превратить пустыню в оазис**



Видеоматериал доступен по адресу: <https://www.youtube.com/watch?v=gITXPUYYJ0> © CCTV English
 Фотография предоставлена: Предотвращение опустынивания в районе Нунся, Китай; Bert van Dijk, на условиях лицензии CC BY-NC-SA 2.0



Пыльная буря над Персидским заливом, 19 февраля 2017 года

Фотография предоставлена: Фотография HACA: Jeff Schmalz, LANCE/EOSDIS Rapid Response

и почвы, включая земли, затронутые опустыниванием, засухами и наводнениями, и стремиться к тому, чтобы во всем мире не ухудшалось состояние земель». Региональные рамочные механизмы, соглашения и планы действий, такие как Региональный генеральный план предотвращения и ограничения пыльных и песчаных бурь в Северо-Восточной Азии, и национальные планы действий, например, требующиеся согласно КБООН, также определяют политические основы деятельности по уменьшению опасности песчаных и пыльных бурь.

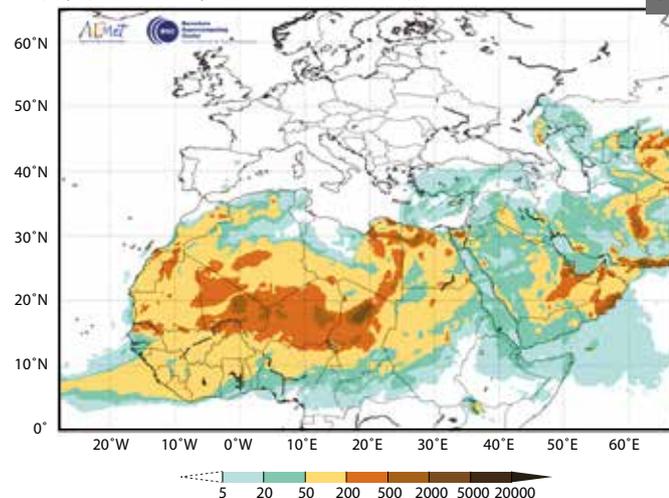
Всемирная метеорологическая организация создала Систему предупреждения о песчаных и пыльных бурях и их оценки, призванную повысить способность стран заблаговременно предоставлять пользователям точные прогнозы, результаты наблюдений, информацию и знания в отношении песчаных и пыльных бурь.⁴³ В рамках этой системы выдаются глобальные и региональные прогнозы опасности пылевых явлений и организованы региональные центры для Северной и Южной Америки, для Азии, а также для Северной Африки, Ближнего Востока и Европы.⁴⁴

Мероприятия по комплексному управлению земле- и водопользованием охватывают ведение сельского хозяйства, и Продовольственная и сельскохозяйственная организация содействует внедрению методов почвозащитного земледелия в целях уменьшения опасности бедствий в засушливых районах.

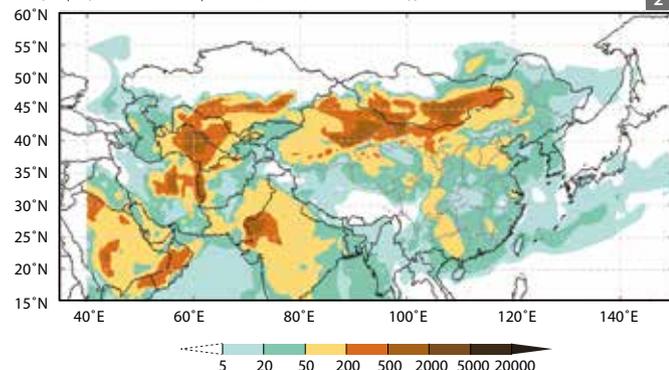


Интерактивное прогнозирование пылевых явлений в региональных центрах Системы предупреждения о песчаных и пыльных бурях и их оценки Всемирной метеорологической организации

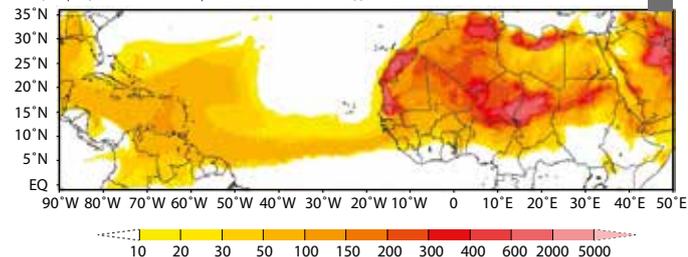
Концентрация пыли на поверхности (мкг/м³) 18 мая 2017 года



Концентрация пыли на поверхности (мкг/м³) 18 мая 2017 года



Концентрация пыли на поверхности 21 мая 2017 года



В 1992 году сетевая структура, известная под названием «Всемирный обзор подходов и технологий в сфере охраны природы» (ВОКАТ), приступила к сбору информации о практических методах почвозащитного земледелия и неистощительного землепользования у специалистов. В 2014 году эта сеть взаимодействия была официально преобразована в консорциум и признана в рамках КБООН в качестве рекомендуемого источника данных по передовой практике. В 2017 году ВОКАТ объединяет более 2 000 зарегистрированных пользователей, свыше 60 учреждений-участников и около 30 национальных и региональных инициатив.⁴⁵

На долю сельского хозяйства приходится почти 70 процентов от общего забора пресной воды.⁴⁶ Почвозащитное земледелие также содействует применению такой практики водопользования, которая предупреждает возникновение нехватки водных ресурсов и опустынивание и уменьшает риск возникновения песчаных и пыльных бурь. Группа по использованию водных ресурсов в период до 2030 года свела воедино информацию из тематических исследований, проведенных во всем мире, об имеющихся в наличии, воспроизводимых и реализованных на практике решениях в сфере управления водопользованием. Эти решения были собраны в форме интерактивного каталога под названием «Управление водопользованием в условиях дефицита водных ресурсов», который призван побудить лиц, разрабатывающих политические курсы и принимающих решения, к действию и использованию имеющейся информации.⁴⁷ Многие из приведенных решений самым непосредственным образом относятся к уменьшению опасности песчаных и пыльных бурь.

Наконец, повышение уровня международного взаимодействия и координации научных исследований необходимо для уменьшения критически важных факторов неопределенности в отношении взаимосвязи между распространением пыли и глобальными биохимическими процессами, а также климатическими системами; для совершенствования методов организации систем мониторинга, прогнозирования и раннего предупреждения; для оценки факторов воздействия на экономику и издержек, связанных с песчаными и пыльными бурями, а также соответствующими мерами по смягчению их последствий; и для повышения эффективности мер, принимаемых до, во время и после этих явлений.

1 Центр для Северной Африки, Ближнего Востока и Европы
<https://sds-was.aemet.es/>

2 Центр СППБО для Азии
http://eng.nmc.cn/sds_was.asian_rc/

3 Панамериканский региональный центр
<http://sds-was.cimh.edu.bb/>

Список использованной литературы

- BBC (2010). China sandstorm leaves Beijing shrouded in orange dust. *BBC*, 20 March 2010. <http://news.bbc.co.uk/2/hi/asia-pacific/8577806.stm>
- Tehran Times (2016). Sand storm buries 16 villages in southeastern Iran. *Tehran Times*, 18 May 2016. <http://www.tehrantimes.com/news/402617/Sand-storm-buries-16-villages-in-southeastern-Iran>
- Emirates 24/7 News (2016). NCMS warns of active winds, low visibility. *Emirates 24/7 News*, 4 August 2016. <http://www.emirates247.com/news/emirates/ncms-warns-of-active-winds-low-visibility-2016-08-04-1.637979>
- The National (2016). Asthma attacks on the rise in UAE as winds whip up sand and dust. *The National*, 19 July 2016. <http://inbusiness.ae/2016/07/19/asthma-attacks-on-the-rise-in-uae-as-winds-whip-upsand-and-dust>
- McLeman, R., Dupre, J., Berrang Ford, L., Ford, J., Gajewski, K. and Marchildon, G. (2014). What We Learned from the Dust Bowl: Lessons in Science, Policy, and Adaptation. *Population and Environment*, 35, 417–440. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24829518>
- Goudie, A.S. and Middleton, N.J. (2006). *Desert Dust in the Global System*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Grousset, F.E., Ginoux, P. and Bory, A. (2003). Case study of a Chinese dust plume reaching the French Alps. *Geophysical Research Letters*, 30(6), 1277. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2002GL016833/full>
- Pye, K. (1987). *Aeolian dust and dust deposits*. Academic Press, London
- Wang, F., Zhao, X., Gerlein-Safdi, C., Mu, Y., Wang, D. and Lu, Q. (2017). Global sources, emissions, transport and deposition of dust and sand and their effects on the climate and environment: a review. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 11, 13. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11783-017-0904-z>
- Yu, H., Chin, M., Yuan, T., Bian, H., Remer, L.A., Prospero, J.M., Omar, A., Winker, D., Yang, Y., Zhang, Y., Zhang, Z. and Zhao, C. (2015). The fertilizing role of African dust in the Amazon rainforest: A first multiyear assessment based on data from Cloud–Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations. *Geophysical Research Letters*, 42, 1984–1991. https://www.researchgate.net/publication/272754426_The_Fertilizing_Role_of_African_Dust_in_the_Amazon_Rainforest_A_First_Multiyear_Assessment_Based_on_CALIPSO_Lidar_Observations
- Chadwick, O.A., Derry, L.A., Vitousek, P.M., Huebert, B.J. and Hedin, L.O. (1999). Changing sources of nutrients during four million years of ecosystem development. *Nature*, 397, 491–497. <https://www.nature.com/nature/journal/v397/n6719/pdf/397491a0.pdf>
- Garrison, V.H., Shinn, E.A., Foreman, W.T., Griffin, D.W., Holmes, C.W., Kellogg, C.A., Majewski, M.S., Richardson, L.L., Ritchie, K.B. and Smith, G.W. (2003). African and Asian dust: from desert soils to coral reefs. *BioScience*, 53, 469–480. <https://academic.oup.com/bioscience/article/53/5/469/241414/African-and-Asian-Dust-From-Desert-Soils-to-Coral>
- Derbyshire, E. (2007). Natural minerogenic dust and human health. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 36, 73–77. https://www.wou.edu/la/physci/taylor/g473/med_geo/derbyshire_2007.pdf
- García-Pando, C.P., Stanton, M.C., Diggle, P.J., Trzaska, S., Miller, R.L., Perlwitz, J.P., Baldasano, J.M., Cuevas, E., Ceccato, P., Yaka, P. and Thomson, M.C. (2014). Soil dust aerosols and wind as predictors of seasonal meningitis incidence in Niger. *Environmental Health Perspectives*, 122(7), 679–686. <https://ehp.niehs.nih.gov/wp-content/uploads/122/7/ehp.1306640.pdf>
- WHO (2013). *Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project*. World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0020/182432/e96762-final.pdf
- Tozer, P. and Leys, J. (2013). Dust storms – what do they really cost? *The Rangeland Journal*, 35, 131–142. <http://www.publish.csiro.au/rj/pdf/RJ12085>
- Miri, A., Ahmadi, H., Ekhtesasi, M.R., Panjehkeh, N. and Ghanbari, A. (2009). Environmental and socio-economic impacts of dust storms in Sistan Region, Iran. *International Journal of Environmental Studies*, 66(3), 343–355. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207230902720170?journalCode=genv20>
- Almasi, A., Mousavi, A.R., Bakhshi, S. and Namdari, F. (2014). Dust storms and environmental health impacts. *Journal of Middle East Applied Science and Technology*, 8, 353–356. https://www.researchgate.net/publication/271211840_Dust_storms_and_environmental_health_impacts
- Stefanski, R. and Sivakumar, M.V.K. (2009). Impacts of Sand and Dust Storms on Agriculture and Potential Agricultural Applications of a SDSWS. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 7(1), 012016. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1307/7/1/012016/pdf>
- Shao, Y., Klose, M. and Wyrwoll, K.H. (2013). Recent global dust trend and connections to climate forcing. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118, 1–12. https://www.researchgate.net/publication/263182073_Recent_global_dust_trend_and_connections_to_climate_forcing_GLOBAL_DUST_TREND
- Prospero, J.M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S.E. and Gill, T.E. (2002). Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. *Reviews of Geophysics*, 40, 2–31. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2000RG000095/full>
- Ginoux, P., Prospero, J.M., Gill, T.E., Hsu, N.C. and Zhao, M. (2012). Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS Deep Blue aerosol products. *Reviews of Geophysics*, 50. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2012RG000388/epdf>
- Stanelle, T., Bey, I., Raddatz, T., Reick, C. and Tegen, I. (2014). Anthropogenically induced changes in twentieth century mineral dust burden and the associated impact on radiative forcing. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119, 526–546. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2014JD022062/epdf>

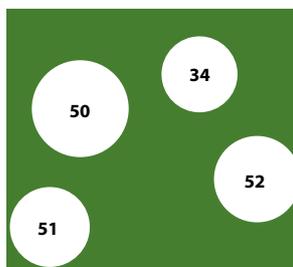
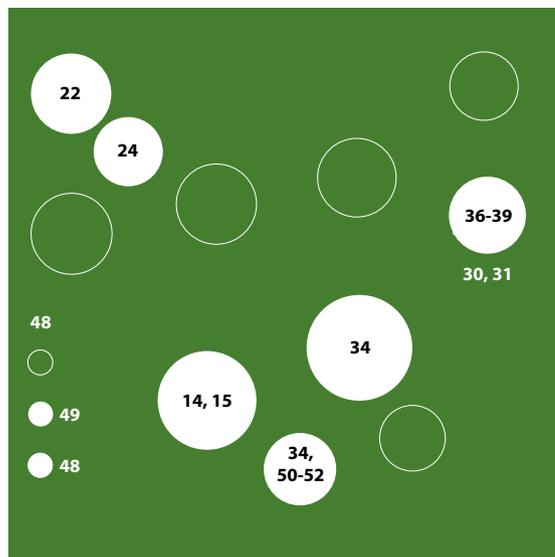


24. Mahowald, N.M., Kloster, S., Engelstaedter, S., Moore, J.K., Mukhopadhyay, S., McConnell, J.R., Albani, S., Doney, S.C., Bhattacharya, A., Curran, M.A.J. and Flanner, M.G. (2010). Observed 20th century desert dust variability: impact on climate and biogeochemistry. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10, 10875–10893. https://www.mpimet.mpg.de/fileadmin/staff/klostersilvia/Mahowald_et_al_ACPD_2010.pdf
25. Gill, T.E. (1996). Eolian sediments generated by anthropogenic disturbance of playas: Human impacts on the geomorphic system and geomorphic impacts on the human system. *Geomorphology*, 17, 207–228. https://www.researchgate.net/publication/222233193_Eolian_sediments_generated_by_anthropogenic_disturbance_of_playas_Human_impacts_on_the_geomorphic_system_and_geomorphic_impacts_on_the_human_system
26. McConnell, J.R., Aristarain, A.J., Banta, J.R., Edwards, P.R. and Simões, J.C. (2007). 20th-Century doubling in dust archived in an Antarctic Peninsula ice core parallels climate change and desertification in South America. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(14), 5743–5748. <http://www.pnas.org/content/104/14/5743.full.pdf>
27. Marx, S.K., Kamber, B.S., McGowan, H.A. and Denholm, J. (2011). Holocene dust deposition rates in Australia's Murray-Darling Basin record the interplay between aridity and the position of the mid-latitude westerlies. *Quaternary Science Reviews*, 30(23), 3290–3305. https://www.researchgate.net/publication/232391398_Holocene_dust_deposition_rates_in_Australia's_Murray-Darling_Basin_record_the_interplay_between_aridity_and_the_position_of_the_mid-latitude_westerlies
28. Groll, M., Opp, C. and Aslanov, I. (2012). Spatial and temporal distribution of the dust deposition in Central Asia – results from a long term monitoring program. *Aeolian Research*, 9, 49–62. https://www.researchgate.net/publication/257708671_Spatial_and_temporal_distribution_of_the_dust_deposition_in_Central_Asia_-_results_from_a_long_term_monitoring_program
29. Ataniyazova, O.A. (2003). *Health and ecological consequences of the Aral Sea crisis*. In the 3rd World Water Forum, Regional Cooperation in Shared Water Resources in Central Asia, Kyoto, March 18 2003, Panel III: Environmental Issues in the Aral Sea Basin. http://www.caee.utexas.edu/prof/mckinney/ce385d/papers/atanizaova_wwf3.pdf
30. Christensen, J.H., Hewitson, B., Busuioac, A., Chen, A., Gao, X., Held, I., Jones, R., Kolli, R.K., Kwon, W.-T., Laprise, R., Magaña Rueda, V., Mearns, L., Menéndez, C.G., Räisänen, J., Rinke, A., Sarr, A. and Whetton, P. (2007). Regional Climate Projections. In *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter11.pdf>
31. IPCC (2013). Summary for Policymakers. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_TS_FINAL.pdf
32. Han, Y., Dai, X., Fang, X., Chen, Y. and Kang, F. (2008). Dust aerosols: a possible accelerator for an increasingly arid climate in North China. *Journal of Arid Environments*, 72(8), 1476–1489. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196308000372>
33. Twohy, C. H., Kreidenweis, S. M., Eidhammer, T., Browell, E. V., Heymsfield, A. J., Bansemer, A. R., Anderson, B. E., Chen, G., Ismail, S., DeMott, P. J. and Van den Heever, S. C. (2009). Saharan dust particles nucleate droplets in eastern Atlantic clouds. *Geophysical Research Letters*, 36, L01807. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2008GL035846/epdf>
34. UNEP, WMO and UNCCD (2016). *Global Assessment of Sand and Dust Storms*. United Nations Environment Programme, Nairobi. https://uneplive.unep.org/media/docs/assessments/global_assessment_of_sand_and_dust_storms.pdf
35. Xu, J. (2011). China's new forests aren't as green as they seem: impressive reports of increased forest cover mask a focus on non-native tree crops that could damage the ecosystem. *Nature*, 477(7365), 371–372. <http://www.nature.com/news/2011/110921/full/477371a.html>
36. Ouyang, Z., Zheng, H., Xiao, Y., Polasky, S., Liu, J., Xu, W., Wang, Q., Zhang, L., Xiao, Y., Rao, E. and Jiang, L. (2016). Improvements in ecosystem services from investments in natural capital. *Science*, 352(6292), 1455–1459. http://csis.msu.edu/sites/csis.msu.edu/files/Ecosystems_China_2016.pdf
37. Tan, M. and Li, X. (2015). Does the Green Great Wall effectively decrease dust storm intensity in China? A study based on NOAA NDVI and weather station data. *Land Use Policy*, 43, 42–47. https://www.researchgate.net/publication/268692474_Does_the_Green_Great_Wall_effectively_decrease_dust_storm_intensity_in_China_A_study_based_on_NOAA_NDVI_and_weather_station_data
38. Viña, A., McConnell, W.J., Yang, H., Xu, Z. and Liu, J. (2016). Effects of conservation policy on China's forest recovery. *Science advances*, 2(3), e1500965. <http://advances.sciencemag.org/content/2/3/e1500965.full>
39. UNEP (2015). Review of the Kubuqi Ecological Restoration Project: A Desert Green Economy Pilot Initiative. United Nations Environment Programme, Nairobi. http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8652/-Review_of_the_Kubuqi_Ecological_Restoration_Project_A_Desert_Green_Economy_Pilot_Initiative-2015Review_of_the_Kubuqi_Ecological_Restoration_Project.pdf?sequence=2&isAllowed=y
40. UNCCD (2017). Great Green Wall. United Nations Convention to Combat Desertification Secretariat, Bonn. <http://www.greatgreenwall.org/great-green-wall/>
41. Sacande, M. and Berrahmouni, N. (2016). Community participation and ecological criteria for selecting species and restoring natural capital with native species in the Sahel. *Restoration Ecology*, 24(4), 479–488. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/rec.12337/abstract>
42. UNCCD (2005). *A Master Plan for Regional Cooperation for the Prevention and Control of Dust and Sandstorms*. The Regional Master Plan for the Prevention and Control of Dust and Sandstorms in North East Asia Volume 1. United Nations Convention to Combat Desertification Secretariat, Bonn. http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Publications/dustsandstorms_northeastasia.pdf

43. WMO (2015). *Sand and Dust Storm Warning Advisory and Assessment System (SDS-WAS): Science and Implementation Plan 2015–2020*. World Weather Research Programme Report 2015-5. World Meteorological Organization, Geneva. https://www.wmo.int/pages/prog/arep/wrrp/new/documents/Final_WWRP_2015_5_SDS_IP.pdf
44. WMO (2017). Sand and Dust Storm Warnings website. World Meteorological Organization, Geneva. <https://public.wmo.int/en/our-mandate/focus-areas/environment/sand-and-dust-storm/sand-and-dust-storm-warnings>
45. WOCAT SLM (2017). The Global Database on Sustainable Land Management of the World Overview of Conservation Approaches and Technologies website. University of Bern, Berne. <https://qcat.wocat.net/en/wocat/>
46. FAO (2016). AQUASTAT website. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/index.stm
47. 2030 WRG (2015). The 2030 Water Resources Group website. <https://www.waterscarcitysolutions.org/#>

Список использованных графических материалов

48. ВОЗ (2006). *Рекомендации ВОЗ по качеству воздуха, касающиеся твердых частиц, озона, двуокиси азота и двуокиси серы — Глобальные обновленные данные, 2005 год*. Краткое изложение оценки риска. Всемирная организация здравоохранения, Женева. whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_rus.pdf?ua=1
49. Financial Tribune (2017). Dust Storms Slam Khuzestan Again. *Financial Tribune*, 29 January 2017. <https://financialtribune.com/articles/environment/58374/dust-storms-slam-khuzestan-again>
50. Tozer, P. and Leys, J. (2013). Dust storms - what do they really cost? *The Rangeland Journal*, 35, 131-142. <http://www.publish.csiro.au/rj/pdf/RJ12085>



51. Jugder, D., Shinoda, M., Sugimoto, N., Matsui, I., Nishikawa, M., Park, S-U., Chun, Y-S. and Park, M-S. (2011). Spatial and temporal variations of dust concentrations in the Gobi Desert of Mongolia. *Global and Planetary Change*, 78, 14-22. https://www.researchgate.net/publication/241100103_Spatial_and_temporal_variations_of_dust_concentrations_in_the_Gobi_Desert_of_Mongolia
52. Miri, A., Ahmadi, H., Ekhtesasi, M.R., Panjehkeh, N. and Ghanbari, A. (2009). Environmental and socio-economic impacts of dust storms in Sistan Region, Iran. *International Journal of Environmental Studies*, 66, 343-355. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/002072309027201707?journalCode=genv20>

Шлейф пыли, переносимой ветром из Западной Африки в направлении Амазонии и Мексиканского залива, 25 июня 2014 года Ежегодно в Амазонию переносится не менее 40 миллионов тонн сахарского песка. Фотография предоставлена: Norman Kuring/NASA OceanColor Group ▶

