

Построить глобальную обсерваторию Земли

Маркку Кулмала

Nature, vol. 553, 4 January 2018

Маркку Кулмала (Markku Kulmala) призывает к непрерывному комплексному мониторингу взаимодействий между поверхностью планеты и атмосферой.

Изменение климата. Водная и продовольственная безопасность. Загрязнение воздуха в городах. Эти глобальные проблемы связаны между собой, но изучаются по отдельности.

От взаимодействия между поверхностью Земли и атмосферой зависят климат, качество воздуха и водный баланс. Изменения в одном из компонентов системы влияют на все остальные. Например, увеличение концентрации диоксида углерода усиливает фотосинтез. По мере своего роста растения выводят парниковые газы из атмосферы, но одновременно выделяют летучие органические соединения - монотерпены. Эти соединения ускоряют формирование аэрозольных частиц, которые отражают солнечный свет обратно в космос. Деятельность человека, например, контроль за выбросами загрязняющих веществ, урбанизация и ведение лесного хозяйства, также оказывают влияние на атмосферу, сушу и Мировой океан [1-5].

Спутники и наземные станции наблюдают за парниковыми газами, изменениями экосистем, твердыми примесями в атмосфере и озоном независимо друг от друга. Совместные наблюдения проводятся лишь изредка в форме отдельных измерительных кампаний. Огромные районы земного шара, включая Африку, Восточную Евразию и Южную Америку, остаются неохваченными.

В результате получается какофония информации, практически бесполезная для понимания происходящих процессов. Это все равно, что пытаться прогнозировать глобальную погоду в ноябре по разрозненным локальным данным о ветре, температуре, давлении или осадках за июнь.

Но решение есть. Оно заключается в построении глобальной обсерватории Земли - 1000 или более хорошо оборудованных наземных станций по всему миру для полного и непрерывного мониторинга окружающей среды и основных экосистем. Данные с этих станций должны быть увязаны с данными спутникового дистанционного зондирования, лабораторных экспериментов и компьютерного моделирования.

С помощью полученного таким образом целостного набора данных ученые смогут обнаруживать новые природные механизмы и петли обратных связей [6]. Политики смогут проверять свои стратегии и оценивать их последствия. Компании смогут развивать сектор экологических услуг. Заработает система раннего предупреждения об экстремальных погодных условиях. Систему быстрого реагирования можно будет активировать уже во время химических аварий или сразу после.

Идея глобальной обсерватории обсуждается уже второе десятилетие. Но только теперь, когда измерительные приборы стали достаточно совершенными, стала возможной ее практическая реализация [7]. Например, современные масс-спектрометры могут одновременно определять тысячи атмосферных соединений. Моим коллективом совместно с коллегами из других организаций было продемонстрировано, каким образом всеобъемлющие наблюдения за окружающей средой могут быть организованы на одной станции. Это SMEAR II - станция для измерения взаимосвязей экосистемы и атмосферы, расположенная в бореальных лесах Финляндии.

Региональные программы по развитию совместного спутникового и наземного мониторинга уже достаточно окрепли для того, чтобы перейти к развертыванию аналогичных станций по всему миру. К таким программам относятся РЕЕХ (Пан-Евразийский эксперимент) и DBAR (Цифровой пояс и путь) – научная инициатива, связанная с китайской стратегической программой развития «Один пояс – один путь», охватывающей 65 стран Азии, Европы, Океании и восточной Африки. Всемирная метеорологическая организация (ВМО) со своей стороны предпринимает шаги по созданию глобальной системы наблюдений. И настоятельная необходимость в этих действиях есть: выбросы углекислого газа должны сокращаться после 2020 года [8].

Предприятие по-прежнему ошеломляет своими масштабами. Для его реализации требуется полный пересмотр подхода к сбору и распространению данных об окружающей среде.

КОМПЛЕКСНАЯ СЕТЬ

Основные ограничения при наблюдении за состоянием Земли связаны с недостаточно высокой плотностью сети наземных станций. Спутники могут вести непрерывный мониторинг CO₂, озона и аэрозолей почти на всей планете. Но они не могут отслеживать сотни других важных соединений или измерять обменные потоки. Спутниковые данные нуждаются в подспутниковых наблюдениях. Модели также должны проверяться по натурным данным.

Современные сети наземных станций создавались без учета глобальных задач. Каждая дисциплина или группа ученых разрабатывают и строят станции в соответствии со своими частными интересами. Поэтому мониторинг экосистем, парниковых газов, химических веществ в атмосфере чаще всего проводится по отдельности. Приоритеты научных фондов сосредоточены на национальных интересах.

В основе станции SMEAR II лежит более комплексный подход. С помощью современных атмосферных масс-спектрометров, погодных радаров и лидаров здесь проводятся наблюдения более чем за 1000 параметров. В этом перечне - парниковые газы, газовые примеси и аэрозоли, характеристики фотосинтеза, температура и влажность почвы, градиенты биогенных веществ.

Задача состоит в том, чтобы создать аналогичные станции по всему миру – с включением локального профессионального опыта. Начинать следует с трех крупных регионов, покрытых редкой сетью станций, а также с мегаполисов.

ГОРЯЧИЕ ТОЧКИ

Арктика и бореальные зоны. Страны бывшего Советского Союза, включая Россию и Казахстан, служат важнейшими «лабораториями» для изучения глобальных изменений. Они богаты полезными ископаемыми, нефтью и природным газом: в Сибири находится 85% разведанных запасов российского газа, 75% запасов угля и 65% запасов нефти. На их территориях происходят быстрые изменения окружающей среды в результате изменения климата. Но многого мы не знаем. Как быстро сокращается вечная мерзлота? Приводит ли «позеленение» Арктики к изъятию углерода или служит источником аэрозолей? Произойдет ли резкое увеличение выбросов метана и сопутствующее ускорение глобального потепления?

В этом регионе, как и везде, ученым необходимо наблюдать аэрозоли совместно с парниковыми газами (такими как CO₂ и метан) и другими малыми газовыми примесями (летучими органическими соединениями, оксидами азота, озоном, диоксидом серы, монооксидом углерода и аммиаком). Две станции уже начинают расширять диапазон своих наблюдений: Гидрометеорологическая обсерватория Тикси в дельте реки Лены на востоке России и Научная обсерватория «станция высотной мачты» ZOTTO на юго-западе Сибири, в 500 километрах от Томска. Для идеального охвата всего региона потребуется около 30 комплексных станций, расположенных на расстоянии 1000 километров друг от друга. Глобальная обсерватория должна появиться в повестках дня предстоящих встреч Правительства РФ и Арктического совета.

Африка. Население континента быстро растет - оно удвоилось по сравнению с 1987 годом, достигнув 1,2 миллиарда человек в 2015 году. Тем временем, когда-то плодородные районы стали засушливыми. Проблемы с источниками воды и продовольствия требуют разработки стратегий по сбору дождевой воды и удержанию влаги в почве [9]. Необходимо лучшее понимание водного баланса и других биогеохимических циклов. Но мониторинг в Африке ограничен главным образом кратковременными наблюдениями за источниками и стоками углерода (с помощью глобальной сети FLUXNET) и некоторыми наблюдениями за качеством воздуха, в рамках которых измеряются около десятка параметров.

В Африке необходимо построить не менее 30 станций. Должны быть охвачены все экосистемы, важные с точки зрения обеспечения продовольствием и водой, включая тропические леса, саванны и полупустыни. Местоположение основных станций следует выбирать в диалоге с местными организациями и учеными. Организация Объединенных Наций, банки развития и частные фонды, работающие в Африке, должны поддержать строительство.

Южная Америка. Критически важно организовать мониторинг в бассейне Амазонки - в силу его обширной площади и влияния на углеродный и гидрологический циклы планеты. Здесь формируется собственная климатическая система, меняющаяся [10] в результате расширения сельскохозяйственных угодий и вырубки лесов. Эти экосистемные нарушения вместе с климатическими изменениями влияют на фиксацию углерода и водный баланс. Однако данных мало, и нет комбинированных наблюдений. Только обсерватория ATTO (Amazon Tall Tower Observatory), расположенная примерно в 150 километрах к северо-востоку от города Манаус в Бразилии, расширяет список измеряемых параметров и стремится обеспечить непрерывность получаемых данных.

В Южной Америке необходимо иметь не менее 20 таких станций, 7 из которых - в Амазонии. Расположение станций необходимо определять с помощью местных ученых и организаций.

Города. Процесс урбанизации ускоряется: население городов утроилось по сравнению с 1970 годом. В них проживает уже более 55% населения планеты. Получение надежных данных о качестве воздуха становится насущной необходимостью. В настоящее время в городах, как правило, контролируется не более 15 параметров. При этом, качество данных часто оставляет желать лучшего.

В мире насчитывается порядка 30 мегаполисов с населением более 10 миллионов человек и сотни городов с населением в несколько миллионов. В каждом крупном мегаполисе должна быть по крайней мере одна комплексная обсерватория и несколько более простых локальных станций. «Глобальный форум мэров городов» должен включить глобальную обсерваторию в свою повестку, равно как и страны «большой двадцатки».

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Глобальная обсерватория, состоящая из 1000 объединенных в сеть суперстанций, должна быть создана в течение 10-15 лет. Расходы составят от 10 млн. евро (11,8 млн. долларов США) до 20 млн. евро на одну станцию, или от 10 до 20 млрд. евро на всю сеть. Это сопоставимо со стоимостью строительства Большого адронного коллайдера в Швейцарии, или мексиканской стены, предложенной Президентом США Дональдом Трампом.

Станции должны создаваться или модернизироваться с использованием модульного подхода. Различные модули будут специализироваться, например, на химии атмосферы, микрометеорологии и химии почв. Разработка и установка каждого блока будет стоить от 500 тыс. до 2 млн. евро. Обслуживание добавит к этим расходам около 3-6% в год.

Приборы должны быть согласованы, откалиброваны и стандартизированы. Они должны модернизироваться по мере развития технологий. Необходимо учитывать вопросы доступа к

данным - информация должна быть надежной и открытой. Специалисты по прикладной математике будут необходимы для анализа данных и разработки продуктов на их основе. Потребуется специалисты для обеспечения работы станций.

Уже существующие сетевые структуры нуждаются в координации своих действий. В их числе - научные программы PEEH, DBAR и FLUXNET; глобальные организации, такие как ВМО и Future Earth; частные глобальные фонды и компании; а также органы муниципалитетов, правительств и ООН.

Взаимодополняющие инфраструктуры следует объединить: Комплексную систему наблюдения за углеродом (ICOS); Глобальную службу атмосферы ВМО (GAW-WMO); Сеть наземных станций для исследования аэрозолей, облаков и газовых примесей (ACTRIS); Европейские долгосрочные исследования экосистем (LTER); и Инфраструктуру для анализа и экспериментов с экосистемами (АнаЕЕ). Первым шагом будет открытый обмен данными между ними, который уже начинается в Европе. Затем эти организации должны приступить к созданию совместных станций на других континентах, в первую очередь - в упомянутых горячих точках. Опыт SMEAR II доказывает, что это осуществимо.

Как только будет создана глобальная обсерватория, у нас появится инструмент, благодаря которому мы сможем понять, как работает система Земли.

Маркку Кулмала - профессор физики и директор Института исследований атмосферных и земных систем в Хельсинкском университете, Финляндия; а также руководитель Лаборатории аэрозолей и смога в Пекинском университете химических технологий, Китай.
e-mail: markku.kulmala@helsinki.fi

1. Arneth, A. *et al. Nature Geosci.* **3**, 525–532 (2010).
2. Shindell, D. *et al. Science* **335**, 183–189 (2012).
3. Kulmala, M. *et al. Atmos. Chem. Phys.* **15**, 13085–13096 (2015).
4. Kulmala, M. *Nature* **526**, 497–499 (2015).
5. von Schneidemesser, E. *et al. Chem. Rev.* **115**, 3856–3897 (2015).
6. Kulmala, M. *et al. Boreal. Environ. Res.* **19** (suppl. B), 122–131 (2014).
7. Hari, P. *et al. Atmos. Chem. Phys.* **16**, 1017–1028 (2016).
8. Figueres, C. *et al. Nature* **546**, 593–595 (2017).
9. Rockström, J. & Falkenmark, M. *Nature* **519**, 283–285 (2015).
10. Davidson, E. A. *et al. Nature* **481**, 321–328 (2012).