

ВСЕМИРНАЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ

МЕЖПРАВИТЕЛЬСТВЕННАЯ
ОКЕАНОГРАФИЧЕСКАЯ
КОМИССИЯ

СОСТОЯНИЕ ГЛОБАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА КЛИМАТОМ В 2021 ГОДУ

РЕЗЮМЕ

2021

GCOS-239

ПРОГРАММА ОРГАНИЗАЦИИ
ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ
ПО ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНЫЙ СОВЕТ

Используйте следующую ссылку для цитирования этого документа:

GCOS (2021). Состояние Глобальной системы наблюдений за климатом в 2021 году: резюме. (GCOS-239), публикация ВМО, Женева.

© Всемирная метеорологическая организация, 2021

Право на публикацию в печатной, электронной и любой другой форме и на любом языке сохраняется за ВМО. Небольшие выдержки из публикаций ВМО могут воспроизводиться без разрешения при условии четкого указания полного источника. Корреспонденцию редакционного характера и запросы в отношении частичного или полного опубликования, воспроизведения или перевода настоящей публикации следует направлять по адресу:

Председатель Издательского совета

Всемирная метеорологическая организация (ВМО)

7 bis, avenue de la Paix

P.O.Box 2300

CH-1211 Geneva 2, Switzerland

Телефон: +41 (0) 22 730 84 03

Факс: +41 (0) 22 730 80 40

Электронная почта: publications@wmo.int

ПРИМЕЧАНИЕ

Обозначения, употребляемые в публикациях ВМО, а также изложение материала в настоящей публикации не означают выражения со стороны ВМО какого бы то ни было мнения в отношении правового статуса какой-либо страны, территории, города или района, или их властей, а также в отношении делимитации их границ.

Упоминание отдельных компаний или какой-либо продукции не означает, что они одобрены или рекомендованы ВМО и что им отдается предпочтение перед другими аналогичными, но не упомянутыми или не прорекламированными компаниями или продукцией.

Заключения, мнения и выводы, представленные в публикациях ВМО с указанием авторов, принадлежат этим авторам и не обязательно отражают точку зрения ВМО или ее Членов.

Настоящая публикация выпущена без официального редактирования.

РЕЗЮМЕ

Цель данного отчета — информировать политиков и тех, кто осуществляет надзор за сетями наблюдений и спутниковыми наблюдениями, о состоянии глобальной системы наблюдений за климатом, последних улучшениях и достижениях, а также об имеющихся пробелах и недостатках.

Глобальная система наблюдений за климатом (ГСНК) была создана в 1992 году для оказания помощи в разработке и координации глобальной системы наблюдений за климатом, которая одновременно поддерживает научное понимание изменения климата, разработку политики, информирование общественности и планирование адаптации и смягчения последствий.

ГСНК готовит регулярные отчеты о состоянии глобальной системы наблюдений за климатом (так называемые отчеты о «состоянии» или «адекватности») и представляет их в секретариат Рамочной конвенции Организации Объединенных наций об изменении климата (РКИК ООН). Это пятый такой отчет, и в нем рассматриваются изменения в системе наблюдений со времени предыдущего отчета, опубликованного в 2015 году (GCOS-195).

В 2014 году Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) заявила, что доказательства изменения климата однозначны, поэтому в Плане осуществления ГСНК на 2016 год (2016 GCOS-IP, GCOS-200) указано, что ГСНК должна обеспечивать не только научные наблюдения за климатом, но и поддержку политики и планирования. Это привело к появлению двух новых направлений работы ГСНК.

Первое направление предусматривает оценку качества мониторинга глобальных климатических циклов¹. Оценивая, насколько хорошо они наблюдаются по важнейшим климатическим переменным (ВКлП) в целом, ГСНК выявила пробелы и несоответствия в глобальной системе наблюдений за климатом². В Плане осуществления ГСНК 2016 года (2016 GCOS-IP) использован новый подход, который заключается не только в концентрации на качестве одного ВКлП, но и в том, что ВКлП все чаще используются для закрытия глобальных или континентальных бюджетов энергии, углерода и воды. Понимание изменений в этих бюджетах и их взаимосвязи имеет жизненно важное значение. Например, изменения в количестве воды в различных компонентах системы Земля непосредственно влияют на доступ к воде хорошего качества, что является основной потребностью человека, в то время как изменения в энергетическом цикле непосредственно определяют такие воздействия, как земные и океанические волны тепла, экстремальные осадки и засухи. Изменения в углеродном цикле напрямую определяют изменения в энергетическом цикле и влияют на целевые показатели выбросов. Таким образом, понимание и наблюдение за циклами Земли важно как для климатологии, так и для определения и мониторинга ключевых политических целей, установленных в рамках Парижского соглашения.

Второе новое направление работы в рамках ГСНК связано с тем, как глобальная система наблюдений может способствовать адаптации. Климатические данные, предоставляемые глобальной системой, являются важным компонентом для предоставления продукции и информации, необходимых для адаптации. Продукция на основе данных, полученная в результате мониторинга климата, вместе с климатическими прогнозами, составленными на основе глобальной климатической модели и уменьшенными по масштабу до регионального и национального уровня, обеспечивают в различных пространственных и временных масштабах климатическую информацию, которая отвечает требованиям адаптации. В глобальном масштабе наблюдения могут использоваться для анализа коллективного прогресса всех стран в области адаптации. Международная координация ГСНК обеспечивает наличие и доступность высококачественных глобальных климатических данных, оказывая важнейшую поддержку адаптации.

¹ В ГСНК рассматриваются водный и углеродный циклы и энергетический баланс, однако существуют и другие важные циклы системы Земля (например, азотный цикл), на которые влияют изменение климата и деятельность человека.

² Важнейшая климатическая переменная (ВКлП) — это физическая, химическая или биологическая переменная или группа связанных переменных, которые вносят решающий вклад в характер климата Земли.

Обеспечение и расширение систем наблюдений, необходимых для долгосрочного мониторинга системы Земля в целом, требует значительных усилий и сотрудничества на всех уровнях, включая международные организации, национальные агентства и научные сообщества. Систематические наблюдения за климатом, поддерживаемые и рассматриваемые ГСНК, осуществляются через Всемирную метеорологическую организацию (ВМО), Глобальную систему наблюдений за океаном (ГСНО), Совместную рабочую группу по климату (РГ-Климат) Комитета по спутниковым наблюдениям за Землей (КЕОС), Координационную группу по метеорологическим спутникам (КГМС), а также широкий круг других партнеров и соответствующих организаций.

Общий подход

В подготовке этого отчета принимала участие группа авторов, а эксперты из трех групп ГСНК³ предоставили техническую информацию и оценки. Каждая группа назначила «уполномоченных по ВКлП» для мониторинга работы системы наблюдения за конкретными ВКлП. Аналогичным образом были назначены эксперты для подготовки отчетов по каждому из мероприятий Плана осуществления 2016 года. Все оценки прошли внутреннюю и внешнюю экспертизу. Весь отчет прошел общественную экспертизу, и было получено более 500 комментариев. Наконец, отчет был одобрен группой авторов и Руководящим комитетом ГСНК.

Преимущества

Устойчивая долгосрочная поддержка глобальной системы климатических наблюдений, как *in situ*, так и со спутников, обеспечивает множество преимуществ. Все страны могут воспользоваться результатами глобальных моделей, прогнозов и предсказаний, подкрепленных глобальными климатическими наблюдениями. Системы предупреждения о чрезвычайных ситуациях используют местные модели и наблюдения, встроенные в глобальную систему моделирования, в то время как при планировании часто используются модели более мелкого масштаба, основанные на глобальных результатах. Политика, связанная с климатом, определяется данными: деятельность РКИК ООН — это научно обоснованный процесс, в котором используются оценки МГЭИК о состоянии климата, основанные на климатических наблюдениях, а также отчеты о состоянии климата, основанные на наблюдениях.

Достижения

С момента публикации Плана осуществления ГСНК 2016 года был достигнут существенный прогресс во многих областях системы наблюдений за климатом Земли, и эти усилия необходимо поддерживать и подкреплять устойчивым, долгосрочным и адекватным финансированием. Основные усовершенствования включают:

- Спутниковые наблюдения улучшили охват в пространственном и временном отношении, а также в плане наблюдаемых переменных. Спутниковые данные доступны и хорошо обработаны⁴. Многие ВКлП, особенно ВКлП суши, такие как почвенно-растительный покров, индекс листовой поверхности и ДПФАР (доля поглощённой фотосинтетически активной радиации), в настоящее время доступны со спутников, обеспечивающих почти глобальное покрытие с хорошим разрешением.
- ВМО и, через Членов ВМО, всемирная сеть национальных метеорологических и гидрологических служб (НМГС) обеспечивают необходимый долгосрочный мониторинг, используя установленную практику и инструменты, для многих ВКлП. Многими из этих данных обмениваются на международном уровне, и они используются для моделирования погоды и климата.
- В последнее десятилетие наблюдения за атмосферными переменными еще более улучшились благодаря новым наблюдениям *in situ* с земли и с коммерческих самолетов.

³ Группа экспертов по атмосферным наблюдениям в интересах изучения климата (ГЭАНК), Группа экспертов по наблюдениям за океаном в интересах изучения климата (ГЭНОК), Группа экспертов по наблюдениям за поверхностью суши в интересах изучения климата (ГЭНПСК).

⁴ Например, см. перечень ВКлП: <https://climatemonitoring.info/ecvinventory/>

- Большинство наземных сетей хорошо управляются, а архивы надлежащим образом хранятся в центрах данных, таких как Национальные центры информации об окружающей среде (НЦИОС), расположенные в Национальном управлении по исследованию океанов и атмосферы (НУОА) в США; Национальный центр данных по снегу и льду (НЦДСЛ) в США и Международный всеобъемлющий комплект данных по атмосфере и океану Международный всеобъемлющий набор данных об океане и атмосфере (ИКОАДС). Служба по вопросам изменения климата в рамках программы «Коперник» (СЗС) также предоставляет доступ к данным и производным продуктам и инструменты для использования данных.
- В настоящее время ГСНК и ВМО совместно работают над созданием эталонной сети метеорологических наблюдений за атмосферой и поверхностью суши, которая станет эквивалентом Опорной аэрологической сети ГСНК (ГРУАН) для поверхности суши.
- Сообщество специалистов по наблюдению за океаном работает над структурированием океанических наблюдений в рамках системы наблюдений, отвечающей конкретным целям, согласовывая передовую практику наблюдений и стандарты данных и метаданных.
- Было принято решение расширить программу Арго на всю толщу воды и под морским льдом, включая биогеохимические переменные. Эти подповерхностные измерения имеют решающее значение для мониторинга и прогнозирования климатической системы.
- Технологические инновации способствовали расширению системы наблюдения за океаном и ее возможностей, в частности, благодаря разработке автономных платформ и соответствующих датчиков для целого ряда ВКлП.

Устойчивость

Долгосрочная непрерывность некоторых спутниковых наблюдений не гарантирована.

Несмотря на то, что спутниковые наблюдения достигли значительных успехов, в них есть пробелы:

- Никакой последующей миссии для Aeolus (профили ветра) не планируется.
- Не обеспечена непрерывность наблюдений для облачных радаров и лидаров на исследовательских спутниках.
- Запланирован только один датчик с круговой шкалой с возможностями, аналогичными сверхвысокочастотному выносному зонду (СВЗ) Aura. СВЗ обеспечивает почти глобальное ежедневное покрытие вертикальных профилей водяного пара от верхней тропосферы и в мезосфере, однако срок его службы уже истек.
- Высотная альтиметрия в условиях высокого наклона остается проблематичной, поскольку в настоящее время функционируют только два исследовательских спутника (CryoSAT-2 и ICESat-2). В будущем планируемые в рамках программы «Коперник» европейские спутниковые миссии для измерения толщины льда и снега в полярном регионе (Copernicus Polar Ice and Snow Topography Altimeter, CRISTAL) и измерения солености поверхности моря (Copernicus Imaging Microwave Radiometer, CIMR) расширят возможности оперативного мониторинга до конца 2020-х годов (в случае подтверждения). Данные альтиметра Sentinel-3A/B могут быть в будущем оптимизированы для морского льда.
- Мониторинг толщины морского льда в высоких широтах находится под угрозой (когда прекратят работу CryoSat-2 и ICESat-2 или, для тонкого льда <50 см, спутник SMOS), и в случае задержки миссии CRISTAL может возникнуть пробел.

Для проведения наблюдений *in situ* необходимо **постоянное финансирование**. В то время как многие атмосферные наблюдения имеют устойчивое долгосрочное финансирование, большинство океанических и наземных наблюдений поддерживаются за счет краткосрочного финансирования исследований с типичным сроком в несколько лет, что ставит под угрозу долгосрочный сбор данных. Это особенно актуально для параметров, которые традиционно

не отслеживаются для целей прогнозирования погоды. Поскольку эти наблюдения осуществляются большим количеством участников, функциональная и эффективная система наблюдений за климатом нуждается в соответствующем финансировании, а органы поддержки и координации имеют особо важное значение.

Многие успешные в других отношениях проекты не привели к долгосрочным устойчивым улучшениям. Региональные семинары GCOS ясно показали, что большинство проектов в развивающихся странах, в которых есть компонент, посвященный наблюдениям, не привели к устойчивому долгосрочному улучшению потенциала наблюдений в этих странах из-за отсутствия ресурсов и планирования. Необходимы более устойчивые решения, такие как предложение о Глобальной опорной сети наблюдений ВМО (ГОСН) и Фонде финансирования систематических наблюдений (ФФСН), рассмотренное ниже.

Пробелы в географическом охвате

В глобальном охвате наблюдений *in situ* все еще существуют пробелы.

Наблюдения *in situ* почти для всех ВКлП постоянно недостаточны над некоторыми регионами, в первую очередь над частями **Африки, Южной Америки, Юго-Восточной Азии, Южного океана** и **покрытыми льдом** регионами, и эта ситуация не улучшилась с момента публикации [Отчета о состоянии ГСНК 2015 года](#) (GCOS-195).

На трех региональных семинарах ГСНК на Фиджи, в Уганде и Белизе⁵ рассматривались причины, по которым в некоторых регионах возникают проблемы с проведением достаточного количества наблюдений. Ключевые проблемы включают следующие:

- Для малых государств (например, МОРАГ и ТМОРГ) затраты на наблюдения могут значительно превышать имеющиеся в стране ресурсы, составляя существенную долю валового внутреннего продукта (ВВП).
- Отсутствие планирования прогнозируемых расходов (например, техническое обслуживание, замена оборудования, расходные материалы).
- Отсутствие обученного персонала и низкий уровень удержания персонала.
- Слабое понимание национальных преимуществ наблюдений: их вклад в обеспечение готовности к стихийным бедствиям, планирование адаптации и другие виды климатического обслуживания.

Кроме того, в отдаленных и труднодоступных районах существуют технические трудности в поддержании оперативных наблюдений.

Конгресс ВМО в 2019 году принял концепцию **Глобальной опорной сети наблюдений (ГОСН)**, которая, если она будет полностью реализована, обеспечит основные наблюдения для глобального численного прогнозирования погоды (ЧПП) и реанализа, охватывая несколько ВКлП. В настоящее время ВМО работает над созданием Фонда финансирования систематических наблюдений (ФФСН), который будет предоставлять финансовую и техническую поддержку для внедрения и эксплуатации ГОСН тем Членам, которые иначе не смогли бы реализовать эту сеть. Преобразование ГОСН и ФФСН из концепций в оперативную реальность требует усилий и поддержки всех сторон.

Некоторые из проблем, связанных с функционированием сети наблюдений *in situ*, были решены с помощью Механизма сотрудничества ГСНК (МСГ). Хотя влияние МСГ на уровне отдельных станций или стран может быть значительным, финансирование, доступное МСГ, позволяет оказывать помощь только немногим странам. ФФСН, при условии постоянного финансирования на предусмотренном уровне, приведет к глобальным улучшениям, но это касается только нескольких ВКлП. **Потребность в поддержке оставшихся наблюдений за ВКлП *in situ* сохраняется.**

⁵ <https://gcoss.wmo.int/en/regional-workshops>

В наблюдениях за океаном все еще существуют большие пробелы. Подповерхностные измерения имеют решающее значение для мониторинга и прогнозирования климатической системы. Решение расширить программу Арго на всю толщу воды и под морским льдом, включая биогеохимические переменные, решает эту задачу. Необходимы более регулярный отбор проб высококачественными океанографическими экспедициями и более активное развертывание платформ наблюдения, в частности, вдоль границ континентов, в полярных океанах и окраинных морях. Необходимо лучше отслеживать океанические условия, влияющие на потерю льда из Гренландии и Антарктики, чтобы улучшить прогнозы будущих темпов потери льда и повышения уровня моря. Наблюдения *in situ* на льду остаются сложной задачей из-за логистических трудностей. Необходимо улучшить качество и охват измерений поверхностных потоков тепла, углерода, пресной воды и количества движения.

Пробелы в спутниковых наблюдениях включают следующее:

- Озон нижней тропосферы (для дополнения ограниченного охвата поверхности и определения статистически значимых тенденций).
- Прибор, измеряющий профили стратосферного метана в глобальном масштабе.
- Существует региональный дисбаланс спутниковых наблюдений. В высокогорных районах сбор спутниковых данных криосферных наблюдений осуществляется плохо. Для определенных атмосферных ВКлП в полярных регионах спутники имеют плохое покрытие или не имеют его вовсе.

Управление, архивирование и доступ к данным

Сохранение фундаментального архива климатических данных имеет большое значение. Реанализ и другие продукты с добавленной стоимостью всегда могут быть воссозданы или улучшены на основе архива базовых данных. Для решения и понимания проблемы изменения климата необходимо постоянно сохранять максимально длинные временные ряды. Не для каждой ВКлП существует признанное глобальное хранилище данных (такое как ИКОАДС, где собраны почти все необходимые данные). Даже если существует признанное глобальное хранилище данных, оно может быть неполным и не иметь адекватной поддержки. Данные должны быть открытыми и свободно доступными для всех пользователей. Адекватное управление данными, архивирование и доступ к ним требуют устойчивого, долгосрочного, достаточного финансирования, а также установленных требований, которые обеспечат последовательный подход среди центров данных. Необходимы четко определенные принципы, такие как TRUST (Lin et al., 2020) и FAIR (Wilkinson et al., 2016), а также четкие и соблюдаемые планы управления данными и цитирования данных.

Оцифровка данных из бумажных копий или конвертация архаичных цифровых форматов позволяет расширить ряды данных в прошлом и требует адекватного планирования и финансирования с открытым и свободным доступом к результатам. Необходима постоянная поддержка этой деятельности. Новые подходы, включая гражданскую науку и учебные проекты, в случае их широкого применения могут помочь в реализации работы по оцифровке в требуемом масштабе.

Новые нужды и потребности, выявленные со времен Плана осуществления 2016 года

Поддержка Парижского соглашения

Для содействия достижению целей Парижского соглашения сообществу специалистов по наблюдениям необходимо устранить пробелы в знаниях с помощью тех ВКлП, которые отслеживают физические, химические и биологические циклы. Необходимо обратить внимание на районы, особенно подверженные воздействию изменения климата, и на то, насколько хорошо требования к ВКлП отражают соответствующие временные и пространственные масштабы. К ним относятся:

- Обратные связи, связанные с изменениями в землепользовании/земном покрове, например, сроки и последствия высвобождения накопленного углерода в арктической вечной мерзлоте при различных температурных и стабилизационных режимах (IPCC, 2018).

- Улучшение понимания того, как варианты реагирования и меры политики могут уменьшить или усилить каскадные воздействия земли и климата, особенно в связи с нелинейными и переломными изменениями в природных и антропогенных системах (IPCC,2019a).
- Океаническая опрокидывающая циркуляция является ключевым фактором, контролирующим обмен теплом и углеродом с атмосферой и, следовательно, глобальный климат, однако не существует прямых измерений этой циркуляции и есть лишь скудные косвенные показатели того, как она может меняться. Это критический недостаток в устойчивых наблюдениях за Мировым океаном (IPCC,2019b).
- Учитывая обязательства по сокращению выбросов углерода, взятые на себя большинством стран, существует необходимость в количественной оценке потоков антропогенных парниковых газов посредством измерений состава атмосферы. Также необходимо обеспечить, чтобы глобальные климатические наблюдения поддерживали количественную оценку влияния человеческой деятельности на изменение климата.
- Наблюдения за климатом играют ключевую роль в адаптации — основной цели Парижского соглашения.

Циклы системы Земля

В 2018 году ГСНК приступила к оценке энергетического баланса, углеродного и водного циклов, выявляя возможные пробелы и несоответствия в существующих системах наблюдения (von Schuckmann et al., 2020; Dorigo et al., 2021; Crisp et al., in prep). Основные выводы включают:

- Неопределенность в общем энергетическом цикле в основном зависит от данных о поглощении тепла океаном, поэтому необходимо поддерживать и расширять интегрированную систему наблюдений за океаном.
- Наибольшая неопределенность в потоках энергии связана с данными об осадках, коротковолновом нагревании атмосферы, явных и скрытых турбулентных потоках тепла в океане и на суше. В настоящее время проводятся исследования, направленные на улучшение возможностей измерения потоков, особенно над океанами. Необходимо сделать соответствующие выводы и, в случае успеха, реализовать их.
- Неопределенность (межгодовая изменчивость) в общем углеродном бюджете зависит от данных об изменениях в землепользовании и поглощении углерода океаном и сушей. Эти неопределенности вызывают беспокойство, так как они свидетельствуют о том, что наши нынешние системы наблюдения еще не обладают необходимой точностью для ежегодного мониторинга этих тенденций в достаточной степени, чтобы информировать Стороны об объемах сокращения выбросов, необходимых им для достижения температурной цели Парижского соглашения. Это потребует совершенствования наблюдений, особенно в Южном океане и в атмосфере над сушей. Спутниковые наблюдения должны быть дополнены значительным увеличением количества наблюдений за парниковыми газами *in situ*, при этом особое внимание должно быть уделено улучшению наблюдений вокруг городских районов.
- Наибольшая неопределенность в водном цикле связана с данными о потоках испарения над сушей (включая полярные регионы) и океаном и осадках над океаном и горами. Существует необходимость измерения ключевых переменных для определения потоков испарения, чтобы улучшить данные о водном бюджете над тропическими районами. Для более точного понимания гидрологии холодных земель также необходима миссия по измерению снежного покрова.
- Вводится новая ВКлП «Запасы воды на суше» (спутниковое гравиметрическое наблюдение). Она поможет количественно оценить чистый эффект изменений климата, антропогенного водопользования и других гидрологических эффектов на водный бюджет континента и поможет закрыть водный баланс суши. Она также будет поддерживать адаптационные исследования для выявления горячих точек изменений в водном цикле, оценивая тяжесть засух.

Адаптация и экстремальные явления

ГСНК приступила к рассмотрению вопроса об адаптации, но еще не завершила эту работу. Многие из основных проблем, решаемых с помощью адаптации, такие как наводнения, засухи и периоды сильной жары, связаны с экстремальными явлениями, а не с долгосрочными величинами ВКлП. Данные мониторинга должны быть релевантны для конкретных уязвимых областей (например, для людей, сельского хозяйства или инфраструктуры), а не относиться к более широкому среднему показателю. Таким образом, в будущем необходимо уделять внимание мониторингу экстремальных явлений с соответствующим пространственным и временным разрешением для каждого конкретного вида использования. Поэтому при определении требований к ВКлП одним значений точности и разрешения может быть недостаточно.

Был сделан вывод, что при существующих возможностях в отношении имеющихся ВКлП и продуктов ВКлП, глобальная система наблюдений за климатом может предоставить показатели для адаптации, которые могут быть использованы в глобальном подведении итогов. Даже при незначительном усовершенствовании существующих продуктов или создании новых продуктов они могут быть использованы на национальном уровне для повышения ценности национальных планов по адаптации путем оценки климатических угроз и уязвимости, оказания помощи в определении вариантов адаптации и их реализации, а также в управлении, мониторинге и оценке действий по адаптации.

Следующие шаги

С 2015 года в глобальной системе наблюдений за климатом произошло много значительных улучшений. Они способствовали более точному пониманию изменения климата и совершенствованию разработки политики и планирования мер по адаптации и смягчению последствий.

Этот отчет будет представлен на рассмотрение РККИК ООН и коспонсорам ГСНК, ВМО, МОК, ЮНЕП и МНС. За ним последует новый План осуществления ГСНК 2022 года, в котором будут определены основные приоритетные области для улучшения на основе представленных здесь выводов.

Ссылки

Crisp D. et al: How well do we understand the land-ocean-atmosphere carbon cycle? (in preparation). <https://doi.org/10.1002/essoar.10506293.1>

Dorigo, W. et al. Closing the Water Cycle from Observations across Scales: Where Do We Stand? *Bulletin of the American Meteorological Society* 2021, 1 (aop), 1–95.

<https://doi.org/10.1175/BAMS-D-19-0316.1>.

GCOS-195: *Status of the Global Observing System for Climate*, World Meteorological Organization (WMO) WMO, 2015. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=7213.

GCOS-200: *The Global Observing System for Climate: Implementation Needs*, World Meteorological Organization (WMO) WMO, 2016. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3417.

IPCC, 2018: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. In Press. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/07/SR15_SPM_version_stand_alone_LR.pdf.

IPCC, 2019a: *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*, <https://www.ipcc.ch/srccl/>.

IPCC, 2019b: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. <https://www.ipcc.ch/srocc/>.

Lin, D. et al The TRUST Principles for Digital Repositories. *Sci Data* 2020, 7 (1), 144. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0486-7>.

von Schuckmann, K. et al. Heat Stored in the Earth System: Where Does the Energy Go? *Earth System Science Data* 2020, 12 (3), 2013–2041. <https://doi.org/10.5194/essd-12-2013-2020>.

Wilkinson, M. D. et al. The FAIR Guiding Principles for Scientific Data Management and Stewardship. *Sci Data* 2016, 3 (1), 160018. <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>.
