ДОСТИЖЕНИЯ ВСЕМИРНОЙ ПРОГРАММЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КЛИМАТА

Научные знания, необходимые для адаптации к изменениям климата, снижения их негативных последствий и управления климатическими рисками

WCRP
World Climate Research Programme

Отчет о Достижениях Всемирной Программы Исследования Климата

Научные знания, необходимые для адаптации к изменениям климата, снижения их негативных последствий и управления климатическими рисками

©ВПИК 2011

Российское издание подготовлено:

Н. Ковалева, С. Гулев (Институт океанологии РАН, Москва)

В. Рябинин (Объединенный Штаб Планирования ВПИК, Женева)

Спонсоры ВПИК:
Международный Совет по Науке (ICSU),
Всемирная Метеорологическая Организация (WMO),
Межправительственная Океанографическая Комиссия ЮНЕСКО (IOC of UNESCO)

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 2

Миссия ВПИК 4

Стратегия ВПИК 6

Реализация задач ВПИК 8

Основные достижения ВПИК 14

Публикации, информация в Интернете, конференции 57

Сокращения 60

Издательство
Научный мир

WCRP
World Climate Research Programme

ПРЕДИСЛОВИЕ

Гассем Р. Асрар
Директор

Предлагаю Вашему вниманию отчет о самых важных результатах Всемирной Программы Исследования Климата (ВПИК) за последние 5 лет. Они были либо непосредственно достигнуты участниками основных проектов и рабочих групп ВПИК, либо были получены в рамках проектов, которые ВПИК поддерживала или координировала. Специалисты, участвующие в деятельности ВПИК, не получают денежного вознаграждения за свою работу. Познакомившись с отчетом, Вы убедитесь, как добровольное участие специалистов многих стран в деятельности групп ВПИК приводит к совокупности результатов комплексных междисциплинарных исследований, достижение которых не под силу ни одному государству в отдельности, не говоря уже об отдельных организациях. Мощная поддержка и постоянная вовлеченность международного научного сообщества в ключевые проекты и рабочие группы ВПИК являются наилучшим индикатором той важной роли, которую эта Программа играла и продолжает играть в организации и координации глобальных исследований климата в течение последних 30 лет. Коллектив ВПИК выражает благодарность за многолетнюю поддержку своим спонсорам: Всемирной Метеорологической Организации (WMO), Международному Совету по Науке (ICSU), и Межправительственной Океанографической Комиссии (IOC) Организации по Образованию, Науке и Культуре ООН (ЮНЕСКО). Без постоянной поддержки этих организаций достижения, описанные в этом отчете, были бы невозможны.

ВПИК получила широкую известность благодаря результатам своих программ прошлых лет – прежде всего благодаря Программе Глобального Исследования Атмосферы (GARP), заложившей основы сегодняшнего численного прогноза погоды, и последовавшей за ней Программе «Тропический Океан и Глобальная Атмосфера» (TOGA), а также Эксперименту по Циркуляции Мирового Океана (WOCE), ставшему основой сегодняшнего комплексного наблюдения за океаном и оценки его состояния. Проект по Изучению Арктической Климатической системы (ACSYS) привлек внимание к значимости той роли, которую играет криосфера в климатической системе. Эти усилия нашли

отражение в сегодняшних ключевых проектах ВПИК, которые создают фундамент будущих совместных моделей климата и системы «Земля».

Настоящий отчет иллюстрирует, с какой глубиной и размахом под эгидой ВПИК проводятся наблюдения и анализ, моделирование и синтез, а также другие многочисленные разработки, направленные на лучшее понимание и предсказание климата. В нем также освещается фундаментальная научная основа, заложенная ВПИК для развития и распространения научных знаний о климате. Эти знания будут необходимы в грядущие десятилетия для принятия решений по всем аспектам деятельности, связанной с колебаниями и изменениями климата, включая смягчение их воздействия, адаптацию к изменениям климата и управление соответствующими рисками. К Отчету прилагается План реализации задач ВПИК. В нем определены основные области координации исследований и результаты, которые участники ВПИК и ее основных проектов ожидают получить в ближайшие 5 лет, и которые, несомненно, пойдут на благо мировому сообществу.

На этом пути, как мне кажется, основной задачей сотрудников ВПИК, а также всего научного климатического сообщества, станет подготовка и обучение следующего поколения экспертов и воспитание лидеров, которые в будущем возглавят исследования ВПИК. В связи с этим координационные усилия ВПИК, также как и ее программ-партнеров и организаций по всему свету, во многом направлены на образование и повышение квалификации ученых и специалистов.

Хочется выразить надежду, что знакомство с этим Отчетом будет Вам полезно. Буду очень рад, если Вы поделитесь впечатлениями от прочитанного и пришлете нам пожелания о том, как можно улучшить этот Отчет и сделать его еще более эффективным средством взаимодействия со спонсорами, всеми заинтересованными организациями и другими коллегами.

МИССИЯ ВПИК

DIGITAL VISION

Всемирная Программа Исследования Климата была основана в 1980 году. Она ставит своей целью «анализ и прогноз изменчивости и изменений климатической системы Земли и их использование в растущем диапазоне практических приложений, имеющих прямое отношение к жизнедеятельности общества и приносящих ему непосредственную пользу».

Основные научные задачи ВПИК:

(1) определить предсказуемость климата;

(2) определить степень влияния человека на климатическую систему.

Успехи, достигнутые в понимании изменчивости и изменений климатической системы, позволяют оценить их предсказуемость и использовать возможности прогноза для разработки стратегических мер по адаптации к изменениям климата и смягчению их негативных последствий. Эти меры помогают мировому сообществу реагировать на последствия климатических колебаний и изменений во всех основных социальных сферах и секторах экономики, включая снабжение продовольствием, энергетику, транспорт, охрану окружающей среды, здравоохранение и управление водными ресурсами. Потребность в информации о климате сегодня невиданно возросла, и ВПИК играет решающую роль в разработке климатической информации для многих пользователей.

Исследования ВПИК сосредоточены на следующих направлениях:

- Наблюдения за изменениями в компонентах, слагающих систему "Земля" – атмосфере, океане, на суше и в криосфере – и на границах этих компонентов;

- Совершенствование знаний и понимания глобальной и региональной изменчивости и изменений климата, а также их механизмов;

- Выявление и оценка значимых трендов в глобальных и региональных климатических показателях;

- Разработка и усовершенствование численных моделей климатической системы, применяемых в оперативных прогнозах, в широком спектре пространственных и временных масштабов;

- Изучение чувствительности климатической системы к естественным и антропогенным воздействиям и оценка изменений, происходящих в результате специфических факторов.

В 2008 году основные спонсоры ВПИК[1] и IGFA[2] провели независимый анализ Программы. В нем были отмечены многочисленные достижения ВПИК и ее важная роль в подготовке общества к глобальным изменениям климата. Отвечая на рекомендации данного анализа, ВПИК приняла решение об увеличении ресурсов, направленных на дальнейшее усиление взаимодействия Программы с основными потребителями климатической информации. Также Программой был разработан План реализации задач ВПИК на ближайшие 5 лет.

---

[1] Всемирная Метеорологическая Организация (WMO), Международный Совет по Науке (ICSU) и Межправительственная Океанографическая Комиссия (IOC) ЮНЕСКО.

[2] International Group of Funding Agencies for Global Change Research.

СТРАТЕГИЯ ВПИК

ESA/AOES MEDIALAB

В 2005 году ВПИК разработала новую стратегическую концепцию своих исследований, названную «Координированное Наблюдение и Прогнозирование Системы "Земля"» (COPES). Концепция включает общий поход и направления основных разработок по широкому ряду климатических наук, необходимых обществу. В соответствии с этой Концепцией в настоящее время ВПИК обеспечивает развитие и внедрение в практику глобальных комплексных климатических наблюдений, методов обработки информации и моделей для:

(1) описания текущего и будущего состояния климата Земли и его изменчивости, в которых были бы учтены комплексные взаимосвязи и механизмы обратной связи между океанами, сушей, атмосферой Земли и человеческой деятельностью;

(2) доведения этой научной информации до сведения руководящих органов, отвечающих за разработку стратегии и управление рисками и возможностями, связанными с колебаниями климата и его изменениями, во всех секторах мировой экономики.

Крупные задачи, поставленные в стратегической Концепции ВПИК, включают:

(1) развитие непрерывного спектра климатических прогнозов – от сезонных до десятилетних и даже для столетнего масштаба времени;

(2) оценку предсказуемости климатической системы Земли в свете ее крайней сложности;

(3) предсказание климата как компонента всей системы "Земля", включая вклад в нее человеческой деятельности;

(4) анализ прошлого и текущего состояния климатической системы для выявления, определения и объяснения конкретных причин имеющихся изменений, включая человеческую деятельность;

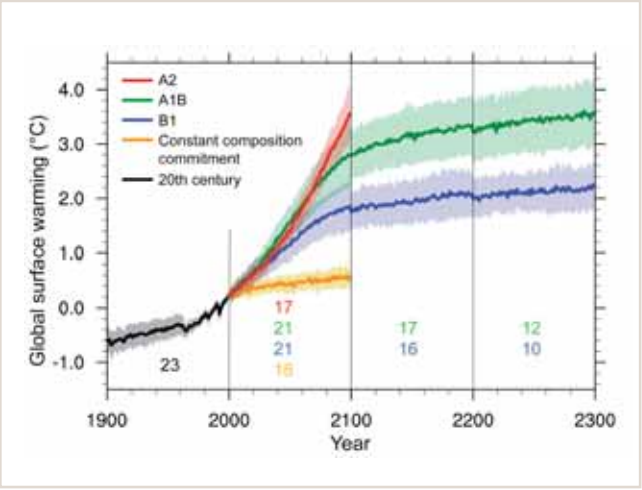
(5) приложение полученных результатов в сфере социально-экономических последствий изменений климата, перед лицом которых сейчас поставлено все население планеты.

РЕАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧ ВПИК

CHRISTIAN MOREL

Достижение стратегических научных целей ВПИК требует сочетания модельных и полевых натурных экспериментов с долгосрочными климатическими наблюдениями, которые, в основном, координируются Глобальной Системой Наблюдений за Климатом (GCOS). Качественное и количественное описание характеристик климатической системы Земли и их поведения является условием лучшего понимания и предсказания будущих изменений.

ВПИК определила ряд социально важных областей научного поиска за пределами традиционных научных дисциплин об окружающей среде. Эти области исследований включают:



INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), FOURTH ASSESSMENT REPORT (AR4), WORKING GROUP ONE (WG1)

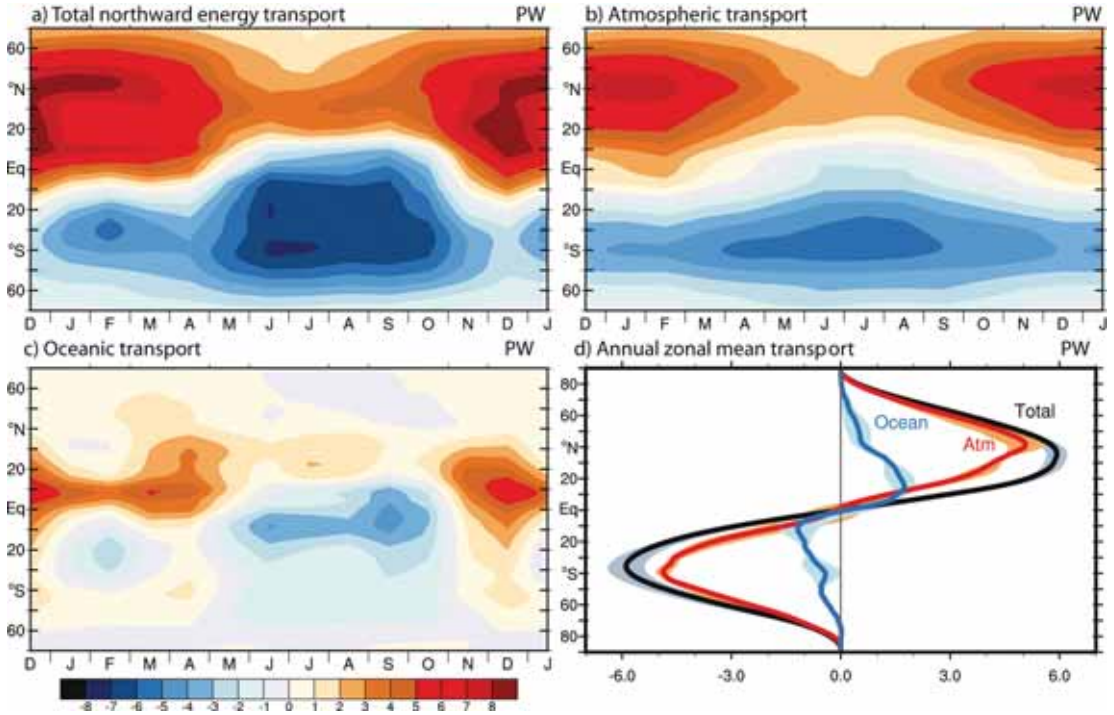
Показатели глобального потепления, осредненные по многим моделям (относительно 1980–1999 гг.), для различных выбросов. Результаты анализа по Проекту 3 по Сравнению Совместных Моделей (CMIP3) Рабочей Группы по Совместному Моделированию (WGCM), который впервые включает эксперимент с климатическими обязательствами, стабилизированными для 2000 г. (оранжевая линия). Даже когда концентрации парниковых газов не растут, потепление климата продолжается из-за термической инерции океана.

- антропогенные (вызванные человеком) изменения климата;
- химию атмосферы и климат, т.е. влияние изменения состава атмосферы на климат и обратное влияние колебаний климата и его изменений на состав атмосферы;
- подъем уровня Мирового океана – причины и последствия его колебаний и изменений, в особенности для населения береговой зоны морей и океанов;
- климатические аномалии (экстремальные явления, такие как жара, наводнения, засухи) – их размах, частота, суровость и вероятность их наступления;
- сезонные прогнозы – исследование сезонного хода процессов и их изменений;
- десятилетние прогнозы – процессы и явления, способствующие колебаниям климата в масштабе десятилетий и влияющие на их предсказуемость;
- муссоны – процессы, влияющие на ежегодный приход муссонов и определяющие их предсказуемость.

ВПИК осуществляет свою деятельность с помощью следующих основных проектов:

- Климат и Криосфера (CliC);
- Колебания и Предсказуемость Климата (CLIVAR);
- Эксперимент по Круговороту Энергии и Воды (GEWEX);
- Стратосферные Процессы и их Роль в Климате (SPARC),

а также с помощью Рабочей Группы по Совместному Моделированию (WGCM) и Рабочей Группы по Численному Экспериментированию (WGNE).



FASULLO AND TRENBERTH, 2008

Общий перенос энергии к Северному полюсу (в петаваттах) по спутниковым наблюдениям (вверху слева). Атмосферный компонент (вверху справа) был выведен из атмосферного реанализа, тогда как океанский компонент (внизу слева) подсчитан с использованием всех наблюдений по запасам тепла в океане из океанского реанализа. На графике внизу справа показаны среднегодовые значения. Это яркий пример синтеза по многочисленным базам данных, включающий реанализы атмосферных и океанских наблюдений – результат международных усилий под руководством Группы Экспертов ВПИК по Наблюдениям и их Усвоению (WOAP).

CliC (Проект по Климату и Криосфере)
http://www.climate-cryosphere.org

Основной целью проекта CliC является оценка и количественная характеристика воздействий, которые климатические колебания и изменения оказывают на компоненты криосферы и ее общую стабильность, а также оценка результатов этих воздействий на климатическую систему.

CliC и его партнеры стремятся обеспечить:

- расширенные наблюдения и мониторинг криосферы и климата холодных районов в целях изучения природных процессов, верификации моделей, обнаружения изменений и для других приложений;
- более глубокое понимание физических процессов и механизмов обратных связей, с помощью которых криосфера взаимодействует с другими компонентами климатической системы;
- более совершенный учет криосферных процессов в климатических моделях с целью уменьшения погрешностей в моделировании и прогнозе климатических колебаний и изменений;
- поддержку научной оценки изменений в криосфере и их последствий, в частности, для подготовки 5-го Оценочного Доклада Межправительственной Группы Экспертов по Изменению Климата (МГЭИК).

Ключевыми областями научных разработок CliC являются изменения и колебания уровня моря, роль углерода и вечной мерзлоты в климатической системе, исследование различий между Северным и Южным полушариями (таких, как распространение морского льда и его сезонный прогноз), а также вклад криосферы в пресноводный баланс Арктики и Южного океана.

CLIVAR (Колебания и Предсказуемость Климата)
www.clivar.org

Проект CLIVAR преследует четыре основные цели:

- Описание и понимание физических процессов, отвечающих за колебания и предсказуемость климата в сезонном, внутригодичном, десятилетнем и столетнем временном масштабе; эта цель достигается в сотрудничестве с другими программами по изучению климата путем сбора и анализа наблюдений и разработки и использования совместных моделей климатической системы;

- Выявление климатической изменчивости в указанных выше временных масштабах путем составления баз данных, как палеоклиматических, так и современных, и контроля качества данных;

- Увеличение срока и точности прогнозирования климата в сезонном и внутригодовом масштабе времени за счет развития глобальных совместных прогностических моделей;

- Понимание реакции климатической системы на увеличение концентрации радиационно-активных газов и аэрозолей, ее прогноз и сравнение этого прогноза с климатическими наблюдениями для выявления антропогенной составляющей климатического сигнала.

Ключевыми научными темами CLIVAR являются Эль-Ниньо – Южное Колебание и другие виды тропической изменчивости, муссоны, десятилетние колебания и термохалинная циркуляция океана, антропогенные климатические изменения и роль океанов в климате. Разработка этих тем представляет весомый вклад CLIVAR в интегрирующие направления деятельности ВПИК по сезонным и десятилетним прогнозам, предсказанию муссонов, антропогенному изменению климата, подъему уровня моря и климатическим аномалиям.

GEWEX (Эксперимент по Круговороту Энергии и Воды)
www.gewex.org

Целью GEWEX является наблюдение, анализ, понимание и предсказание колебаний глобального круговорота энергии и воды и их влияния на динамику атмосферы и ее приповерхностного слоя. GEWEX также производит наблюдения за региональными гидрологическими процессами и водными ресурсами, с целью объяснения их изменений и выявления их отклика на другие изменения в окружающей среде – например, увеличение концентрации парниковых газов и особенности природопользования.

Задачами программы GEWEX являются:

- Создание наборов данных высокого качества с оценками погрешностей по энергетическому бюджету Земли и круговороту воды, а также их изменчивости, позволяющих оценивать тренды внутригодичного и десятилетнего масштаба и использовать их при анализе климатической системы и разработке и верификации моделей;

- Более глубокое понимание и точное количественное описание вклада гидрологического цикла и энергетики в климатические механизмы обратной связи;

- Более качественный прогноз ключевых переменных и составляющих гидрологического цикла и баланса энергии с целью описания региональных гидрометеорологических процессов с сезонным разрешением по времени;

- Совместная работа с оперативными гидрометеорологическими службами и проектами Партнерства по Науке о Системе "Земля" (ESSP) – такими как Глобальный Проект по Системе "Вода" (GWSP) – а также с рядом других гидрологических программ; целью работы которых является демонстрация значимости исследовательских данных GEWEX и разработанных проектом методов оценки последствий изменчивости и изменений климата в сфере водных ресурсов.

SPARC (Стратосферные Процессы и их Роль в Климате)
www.atmosp.physics.utoronto.ca/SPARC

SPARC занимается решением ключевых вопросов климатических исследований по трем основным направлениям:

- Взаимодействие химических процессов и климата;

- Выявление, объяснение и прогноз стратосферных изменений; и

- Динамическое взаимодействие стратосферы и тропосферы.

Вместе с Международным Проектом по Химии Мировой Атмосферы (IGAC), являющимся частью Международной Программы по Геосфере и Биосфере (IGBP), SPARC ведет исследовательскую деятельность по химии атмосферы и климату. На основе разработок SPARC производится научная оценка разрушения озонового слоя в стратосфере (WMO и UNEP – Программой ООН по окружающей среде). Анализ стратосферных наблюдений позволяет выявить колебания и долгосрочные изменения, происходящие в стратосфере. С помощью моделирования и усвоения данных SPARC вносит непосредственный вклад в создание базы знаний, необходимой для разработки следующего поколения систем метеорологического анализа и моделей для прогноза погоды и климата. Кроме того, исследования динамического взаимодействия стратосферы и тропосферы, проводимые в рамках SPARC, вносят вклад в разработку моделей следующего поколения для прогнозирования погоды, климата и системы "Земля".

ОСНОВНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ ВПИК

JULIO ETCHART, WORLD BANK

Основные проекты и рабочие группы ВПИК по существу представляют собой научные и технические форумы для выявления приоритетных вопросов климатических исследований, для решения которых необходимо многопрофильное международное сотрудничество. Всемирная Программа Изучения Климата руководит международными исследованиями так, чтобы эффективно использовать опыт участвующих организаций и их сотрудничество. Добровольное участие ассоциированных членов в работе ВПИК всегда являлось главным залогом успеха Программы с момента ее основания 30 лет назад.

ВКЛАД ВПИК В ОЦЕНКУ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

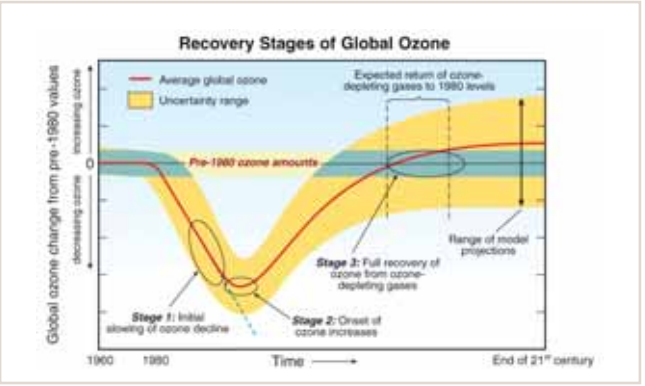
Результаты исследований ВПИК составили научно-информационную базу для таких фундаментальных документов по окружающей среде, как Оценка WMO-UNEP сокращения и восстановления озонового слоя, а также Оценочных Докладов по Изменению Климата МГЭИК. Работы ВПИК внесли существенный вклад в ряд недавно опубликованных обзоров по влиянию состояния криосферы на климат полярных районов. ВПИК также, несомненно, внесет вклад в предстоящую оценку изменчивости и изменений уровня моря.

Оценка масштабов разрушения стратосферного озона и его пополнения

Разрушение стратосферного озона в течение второй половины XX века является результатом скопления устойчивых химических соединений, произведенных человеком. Ожидается, что в течение XXI века произойдет пополнение или восстановление стратосферного озона благодаря сокращению выбросов в атмосферу веществ, разрушающих озон. Это сокращение явится результатом контроля за выбросами озоноразрушающих веществ, предписанного Монреальским Протоколом. Вместе с тем, стало понятно, что ожидаемая эволюция озонового слоя и его возможное восстановление зависят от изменений климата, которое, в свою очередь, вызвано повышением концентраций радиационно- и химически-активных веществ в атмосфере. Все эти изменения являются результатом человеческой деятельности. То, что эти вещества играют большую роль в химических превращениях озона в стратосферном зимнем полярном вихре над Антарктидой – вдалеке от их источника – само по себе является доказательством важности переноса и обмена между тропосферой и атмосферой, происходящих во временных масштабах от недель до нескольких лет. Стало ясно, что динамическое взаимодействие стратосферы и тропосферы также существенно влияет и на тропосферу.

Химико-климатические модели, разрешающие процессы в стратосфере, стали важнейшими инструментами понимания и предсказания эволюции озона и его взаимодействия со всей остальной климатической системой. CCMVal – исследовательский проект SPARC по апробации химико-климатических моделей (http://www.pa.op.dlr.de/CCMVal) играет ведущую роль в количественном описании эволюции стратосферного озона и оценки его взаимодействия с климатической системой. В рамках CCMVal осуществляется комплексная апробация химико-климатических моделей. Ее основной целью является диагностика воспроизведения моделями важнейших процессов, отвечающих за изменения в химическом составе атмосферы и ее климатических

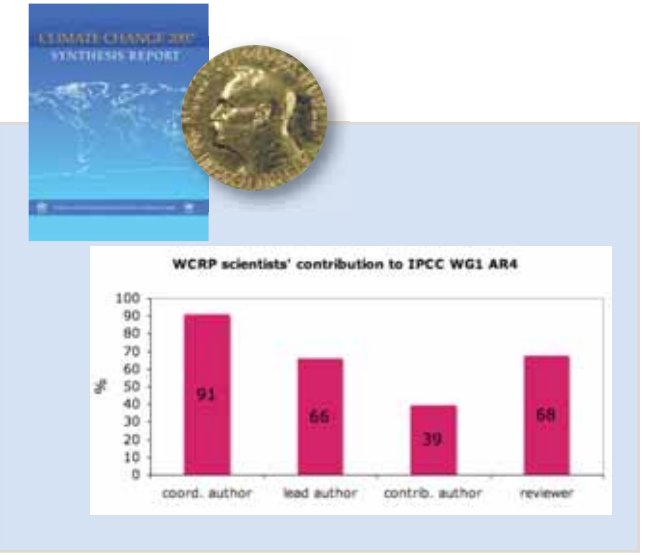
WMO/UNEP SCIENTIFIC ASSESSMENT OF OZONE DEPLETION, 2006



Модельные прогнозы восстановления стратосферного озона при сокращении выбросов озоноразрушающих веществ, предписанном Монреальским Протоколом. Большой диапазон погрешностей отражает природную изменчивость озона в прошлом и потенциальные погрешности оценки будущего содержания озона по прогнозам глобальных моделей. Эволюция антропогенных климатических изменений является главным источником неопределенности прогнозов на будущее.

показателей. Модели, апробированные в ходе CCMVal, служат основой для Научной оценки сокращения стратосферного озона WMO-UNEP. Эти оценки являются частью процесса содействия принятию продуманных решений по защите озонового слоя, который был заложен подписанием Монреальского протокола. Первый отчет был опубликован в 1989 году и с тех пор каждые 4 года производятся периодические оценки (http://ozone.unep.org/Publications/Assessment_Reports/). Ученые, работавшие под эгидой SPARC, внесли крупный вклад в подготовку этих отчетов.

Тренды температуры в стратосфере – в дополнение к тому, что они играют ключевую роль в изменениях климата – также крепко привязаны к колебаниям и изменениям стратосферного озона. Поэтому тренды температур в стратосфере изучаются в рамках Научной оценки сокращения стратосферного озона. Попытки определить причины стратосферного похолодания, имевшего место в недавнем прошлом, по результатам моделирования и наблюдениям, показали, что тренды в верхней стратосфере зависят, почти в равной мере, от сокращения озона и увеличения концентрации углекислого газа. Похолодание нижней стратосферы связано преимущественно с разрушением озона, но также на него, возможно, влияют изменения содержания водяного пара в атмосфере. Количественное выражение наблюденных трендов температур и их погрешности находятся в центре внимания Рабочей Группы SPARC по Температурным Трендам. Моделирование последних трендов температур стратосферы и прогноз



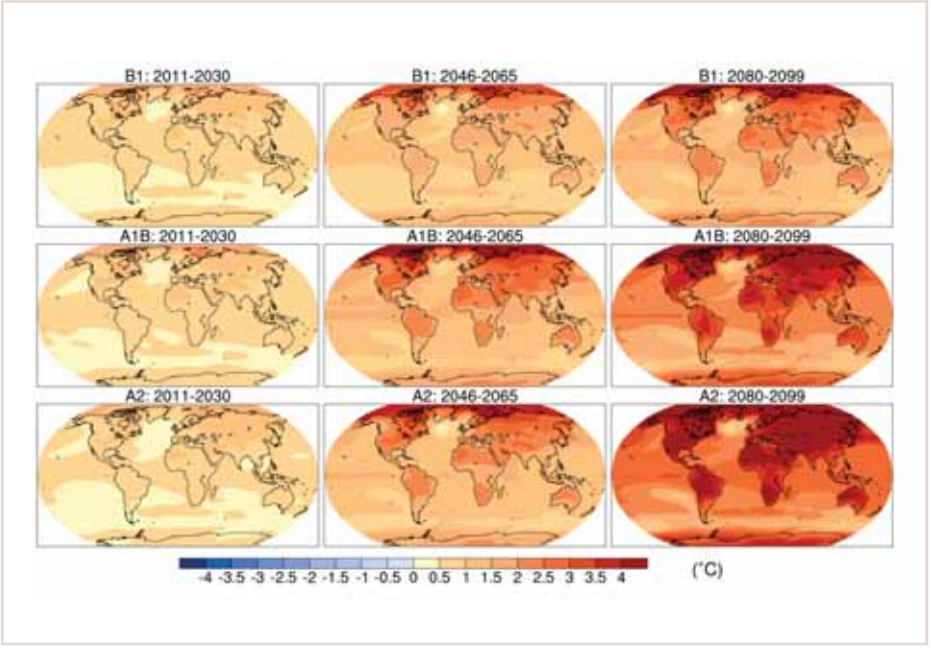
Ученые, сотрудничающие в рамках ВПИК, внесли существенный вклад в составление ОД4 МГЭИК.

будущих температурных трендов в стратосфере явились основным вкладом деятельности CCMVal в недавние международные оценки озона.

Вклад ВПИК в 4-й оценочный доклад МГЭИК

Межправительственная Группа Экспертов по Изменению Климата (http://www.ipcc.ch) была основана в 1988 году WMO и UNEP для оценки научной информации, связанной с антропогенным изменением климата. Последний Оценочный Доклад МГЭИК (ОД4) был опубликован в ноябре 2007 года, и МГЭИК, вместе с Альбертом Гором, была удостоена Нобелевской премии мира «за усилия в развитии и распространении знаний об изменении климата, вызванного человеком, и создании основ для принятия мер, необходимых для противодействия этому изменению». ВПИК внесла существенный вклад в построение научных основ для целого ряда важнейших заключений, представленных во всех отчетах МГЭИК, включая ОД4. Примечательно, что ВПИК сыграла ключевую роль в ОД4, в основном, благодаря работе связанных с ней ученых – они руководили подготовкой различных глав отчета Первой рабочей группы МГЭИК, координировали их составление, писали тексты и рецензии. По словам С. Соломон, со-председателя Первой Рабочей группы 4-го Оценочного Доклада МГЭИК, «ВПИК играет незаменимую организующую роль в научном сообществе, что, в свою очередь, бесценно для МГЭИК».

В 2004 г. Рабочая Группа по ВПИК по Совместному Моделированию (WGCM) создала Проект по Сравнению Совместных Моделей (третья его фаза носит название CMIP3).



INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), FOURTH ASSESSMENT REPORT (AR4), WORKING GROUP ONE (WG1)

Сводка результатов из многих моделей по изменениям температуры воздуха на поверхности для различных сценариев и периодов времени. Карты потепления WGCM CMIP3 для всех отрезков времени и сценариев очень похожи, но видны различные амплитуды: материки нагреваются сильнее океанов, сильно нагреваются высокие широты северного полушария, а Северная Атлантика и Южный океан – слабее.

В 2005 г. РГСМ провела работу по сбору и архивированию всех результатов глобального моделирования климата, предпринятых при подготовке ОД4 МГЭИК, а также по организации доступа к ним. В результате была создана беспрецедентная коллекция прогнозов климата, официально известная как «мультимодельная» база данных CMIP3 ВПИК, включающая в себя скоординированный набор результатов экспериментов по изменению климата XX и XXI века, проведенных 19 группами ученых из 11 стран мира с использованием 24 глобальных совместных климатических моделей. База данных CMIP3 поддерживается коллективом сотрудников Программы по Диагностике и Сравнению Климатических Моделей (PCMDI), http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/about_ipcc.php), и ее объем составляет около 36 Терабайт. Результаты этих экспериментов по прогнозированию климата широко доступны ученым. Уже более 2000 ученых выступили с многочисленными статьями (более 500) на различные темы, включая изменчивость африканского муссона, засухи в Австралии, гидрологию реки Меконг, определение изменений климата на островах Тихого океана, вклад Арктики в подъем уровня моря, вклад антропогенного фактора в изменения в Южном Океане и т.д.

Вместе с тем, целый ряд важных научных вопросов еще не нашел ответа в ОД4. На них предстоит ответить последующим оценочным докладам по изменению климата. Вот эти вопросы:

(1) В каких регионах мира общество наиболее уязвимо к изменениям климата?

(2) Когда и как быстро эти изменения будут происходить?

(3) Каковы пороги изменений, достижение которых приведет к потенциально опасным изменениям?

В настоящее время разрабатывается следующий этап CMIP (CMIP5). Основные задачи для совокупности климатических моделей, которые будут использоваться в CMIP5, включают определение региональных изменений климата, к которым человеческое общество должно адаптироваться за следующие несколько десятилетий, а также количественная оценка роли преобладающих обратных связей в климатической системе, связанных, например, с взаимодействием облачности и углеродного цикла.

Криосферные и полярные климатические оценки

Глава о криосфере ОД4 МГЭИК была написана под руководством ученых, связанных с проектом CliC. В ней был впервые представлен целостный взгляд на одновременные изменения, происходящие в различных частях криосферы. Анализ состояния криосферы в ОД4

US NATIONAL SNOW AND ICE CENTER

Ледники на всем земном шаре, за исключением лишь некоторых, сокращаются беспрецедентными темпами. Ряд ледяных щитов, ледников и даже шельфовых ледников исчезли совсем. Фотография ледника Мьюир, Аляска, США (слева), сделанная 13 авг. 1941 г.; на фото справа то же место 31 авг. 2004 г. Фото Б.Ф. Молниа из Геологической службы США.

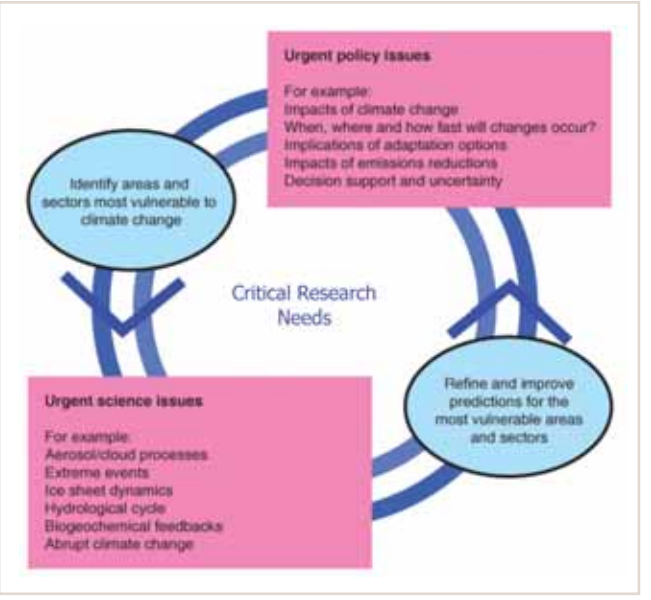
получил дальнейшее развитие в «Глобальной Оценке Состояния Льда и Снега», опубликованной UNEP в 2007 году, которая также во многом опиралась на вклад ряда экспертов CliC. Ожидается, что криосферные изменения сильно повлияют на природу и среду обитания человека. Например, таяние горных ледников и полярных ледяных щитов приведет к ускоренному повышению уровня Мирового океана. Таяние вечной мерзлоты приведет к изменениям в свойствах поверхности суши в северных широтах и окажет влияние на гидрологический режим и цикл углерода. Воздействуя на погоду, климат и гидрологические условия, криосфера влияет на транспорт, запасы пресной воды, планирование сельского хозяйства, организацию отдыха и дикую природу.

Со времени опубликования в 2005 г. широко известной Оценки Влияния на Климат Арктики (ACIA) познания в области изменений арктического климата вышли на новый уровень, и, основываясь на них, Фонд Охраны Дикой Природы (WWF) в 2008 г. опубликовал новую Оценку.

Новый уровень понимания состояния криосферы и происходящих в ней изменений позволил научному сообществу специалистов по криосфере приняться за составление оценки «Климатические изменения и криосфера: снег, вода, лед и вечная мерзлота в Арктике» (SWIPA). Эта работа заказана Арктическим Советом, но спонсируется также AMAP, IASC, CliC и проектом Международный Полярный Год 2007–2008. При выполнении этого проекта будут анализироваться не только наблюденные изменения криосферы, но также будет сделан прогноз ее эволюции при потеплении климата на основании климатических прогнозов из архива ВПИК CMIP3.

ЧТО ФОРМИРУЕТ КЛИМАТИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ ЗЕМЛИ: КОМПЛЕКСНЫЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ АТМОСФЕРОЙ, ОКЕАНОМ, КРИОСФЕРОЙ, СУШЕЙ И БИОСФЕРОЙ

Исследования климата в рамках ВПИК выполняются на переднем крае климатической науки с точки зрения понимания и прогнозирования изменчивости климата и его изменений. В частности, ВПИК делает упор на развитие климатических предсказаний до уровня про-



FUTURE CLIMATE CHANGE RESEARCH AND OBSERVATIONS: GCOS, WCRP AND IGBP LEARNING FROM THE IPCC FOURTH ASSESSMENT REPORT WMO/TD NO. 1418, 2008.

Схема иллюстрирует, как региональная уязвимость к климатическим изменениям может быть учтена при разработке будущей стратегии исследований и наблюдений и как оптимизировать ее для ответа на запросы общества.

гнозов (то есть решения математических уравнений климатических моделей с учетом реальных начальных условий). Потребность в прогнозах о состоянии окружающей среды становится все более и более актуальной и основывается на понимании того, что климатическая система неразрывно связана с биогеохимией Земли и человеческой деятельностью. Работая в партнерстве с другими международными программами, ВПИК разрабатывает не только фундаментальные междисциплинарные вопросы наук о системе Земля, но и концентрируется, в рамках своих основных проектов, на исследованиях региональных аспектов климатической системы.

Выводы по результатам работы над ОД4 МГЭИК

В 2007 г. вместе с IGBP и GCOS ВПИК организовала совещание в Сиднее, Австралия, для разработки стратегии дальнейших исследований и наблюдений за изменениями климата. Участники совещания рассмотрели пробелы в наблюдениях и фундаментальных науках, выявленные МГЭИК (Рабочими группами I и II). Они также попытались понять, каким образом и в какой степени до сих пор отсутствующая, неполная или ненадежная информация об изменениях климата может повлиять на качество оценки их негативных воздействий, планирования адаптационных мер и оценки уязвимости отдельных регионов.

Совещание также определило направления научных исследований для улучшения качества региональных климатических моделей. Чтобы быть полезной при принятии решений, поставляемая климатическая информация должна иметь высокое пространственное разрешение и реалистично представлять экстремальные климатические явления. В настоящее время такая информация получается либо путем так называемого «даунскейллинга» (downscaling) результатов интегрирования глобальных моделей до регионального масштаба или путем использования региональных климатических моделей (РКМ). Таким образом, интеграция глобальных и региональных моделей климата, а также их дальнейшее совершенствование были признаны главными приоритетами исследований. Особенно важным является получение соответствующих данных, пригодных для дальнейшего развития и проверки точности этих моделей, в особенности, региональных.

В 2008 г. ВПИК организовала целевую рабочую группу по региональному климатическому даунскейлингу (TFRCD), задачами которой являются:

(1) создание основы для оценки качества и совершенствования методов регионального климатического даунскейлинга (РКД) и его использования в применении к глобальным прогнозам климата;

(2) разработка международной программы работ по созданию прогнозов климатических изменений нового поколения, основанных на РКД для всех регионов земного шара, и их использования при изучении негативных воздействий изменений климата и разработке адаптационных мер;

(3) содействие расширению контактов между специалистами по климатическим моделям, даунскейлингу и конечными пользователями, с тем, чтобы изучение негативных воздействий и разработка адаптационных мер проходили более эффективно и в них, насколько возможно, были вовлечены ученые из развивающихся стран.

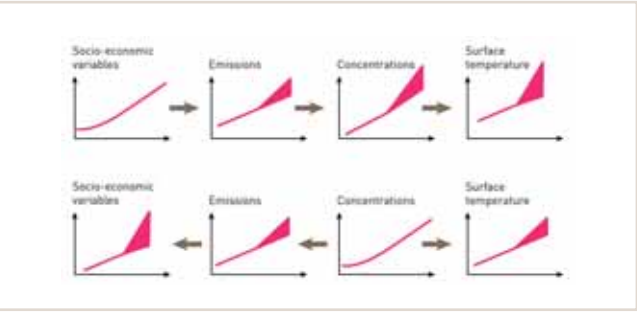
TFRCD организовала два совещания по оценке и совершенствованию региональных климатических предсказаний. Первое совещание состоялось в феврале 2009 г. в Тулузе (Франция), а второе – в Лунде (Швеция) в мае 2009 г. Целевая рабочая группа также приступила к Эксперименту по Координированному Дайнсекейлингу Регионального Климата (CORDEX), в рамках которого были согласованы сеточные области высокого пространственного разрешения (30-50 км), покрывающие практически почти всю сушу земного шара. Для начала усилия будут сосредоточены на Африканском регионе. Для него будут получены региональные прогнозы, рассчитанные в лидирующих мировых центрах регионального моделирования.

Содействие многопрофильным исследованиям по моделям климата и системы "Земля"

Одной из областей тесного сотрудничества ВПИК и IGBP является стратегия интенсивного развития и внедрения моделей системы «Земля» с учетом аэрозолей, атмосферной химии, цикла углерода и динамики растительности. В августе 2006 г. в Аспенском институте глобальных изменений (США) представители ВПИК и IGBP предложили новый подход к использованию совместных моделей климатической системы.

При таком подходе в качестве отправного пункта для определения выбросов (эмиссий) используется понятие Репрезентативной Траектории Концентраций (RCP). При этом нет необходимости иметь готовую оценку социально-экономических факторов до экспериментов по расчету модельных сценариев изменения климата. Социально-экономические факторы, ответственные за выбросы, могут быть определены по концентрациям, связанным с результирующими рассчитанными изменениями климата. Таким образом, могут быть получены множественные траектории социально-экономического развития общества, приводящие к похожим концентрациям парниковых газов, что позволяет рассмотреть широкий спектр социально-экономических сценариев. При таком подходе также удается избежать каскадного роста ошибок, неизбежных во взаимно-зависящих климатических и социально-экономических моделях.

Рабочая группа ВПИК по Совместному Моделированию разрабатывает подход к модельным экспериментам/предсказаниям изменений климата, которые предполагается реализовать в ближайшие 5 лет в рамках проекта CMIP5. Результаты этих экспериментов заложат



Сверху: Традиционный прямой подход начинается с задания общественно-экономических переменных, из которых выводятся выбросы, концентрации и далее, с помощью климатических моделей, температуры. Снизу: Предложена новая методология, в которой исходным пунктом являются концентрации, используемые в климатических моделях, из которых выводятся выбросы и общественно-экономические факторы, необходимые для достижения этого уровня выбросов.

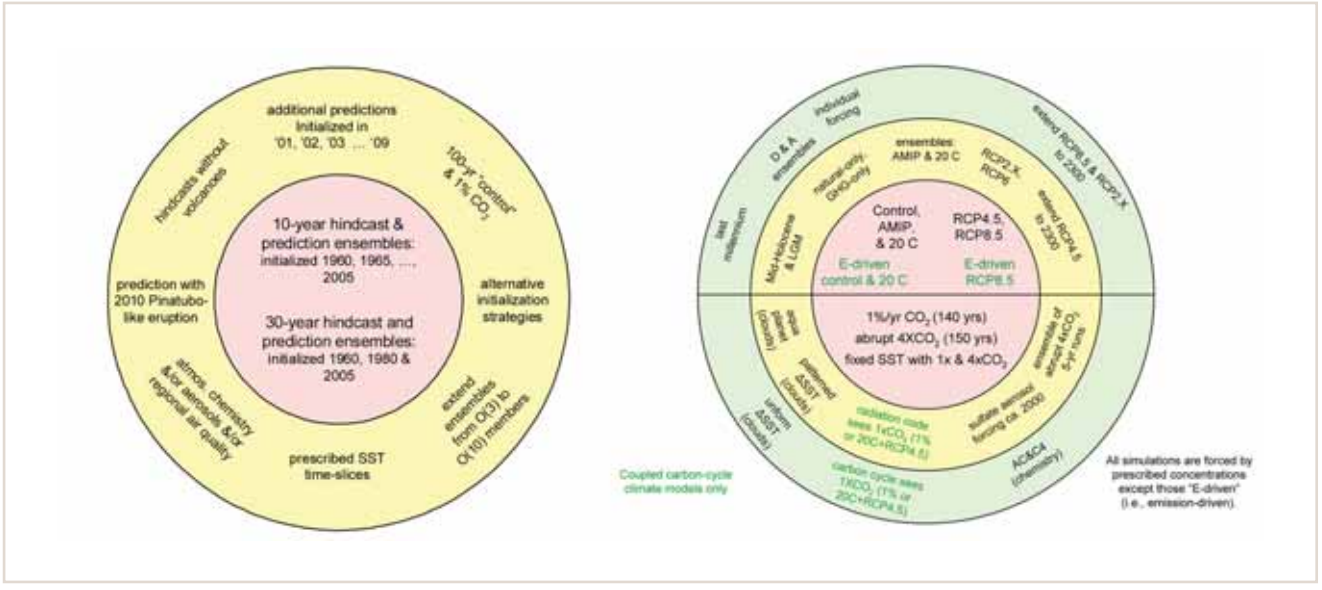
основу следующего оценочного доклада МГЭИК (ОД5). Ансамбль экспериментов CMIP5 даст возможность провести строгую оценку того, насколько реалистично модели воспроизводят климат недавнего и далекого прошлого. Они также обеспечат прогноз будущих климатических изменений в двух временных масштабах – десятилетнем и столетнем – и облегчат понимание ряда факторов, вызывающих различия в модельных прогнозах.

Новая стратегия основана на использовании моделей двух классов, отвечающих двум временных масштабам и двум совокупностям научных вопросов:

(1) долговременные предсказания (до 2100-го года и далее) для изучения возможной амплитуды климатических изменений, отвечающей различным обратным связям, имеющимся в системе;

(2) прогнозы на близкое будущее (на десятилетия до 2035 года) для оценки регионального климата и экстремальных климатических явлений.

Результаты исследований по десятилетним прогнозам указывают на возможность выпуска в будущем оперативных прогнозов с достаточной степенью успешности и высоким пространственным разрешением, которые могли бы использоваться руководящими и планирующими органами. Основная научная проблема здесь связана с тем, чтобы определить специфические механизмы, которые, с одной стороны, формируют изменчивость



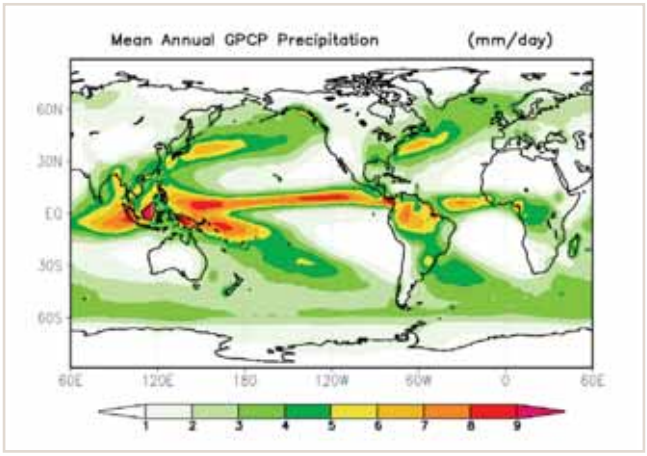
Сводка результатов экспериментов CMIP5: слева – десятилетнее прогнозирование, справа – долгосрочное.

климата в десятилетнем масштабе и, с другой стороны, являются наблюдаемыми и предсказуемыми.

Оценка наблюдений глобальных осадков

Оценка Данных по Глобальным Осадкам, проходившая под эгидой GEWEX, была выполнена международной группой научных экспертов в области наблюдения и анализа осадков по данным спутниковых и контактных наблюдений. В отчете этой группы ученых подробно описаны современные способы измерения глобальных осадков – самого главного компонента глобального круговорота воды и энергии, который существенно влияет на климатическую систему Земли. В отчете приводится подробное описание процесса создания рядов данных, исходные предположения при выборе, сортировке и обработке данных, получающееся пространственное и временное разрешение, а также возможные источники ошибок и отклонений в результатах. Отчет также содержит обзор современных спутниковых методик оценки осадков и характеризует особенности долговременных рядов данных наблюдений in situ.

Читатель найдет в отчете новую информацию о распределении и изменчивости глобальных осадков, в особенности над океанами. В отчете имеются полезные рассуждения и рекомендации по улучшению современных рядов данных, как на этапе наблюдения, так и на этапе обработки информации. Они дополнены предложениями о том, так развить ряды данных в будущем с тем, чтобы отразить в них полную 3-х мерную пространственную структуру облаков и осадков за счет появляющихся в наше время поляриметрических и многочастотных активных и пассивных микроволновых сенсоров. Оценка Данных о Глобальных Осадках выявила, как приоритетную область исследований, улучшение наблюдений за интенсивностью твердых осадков, а также осадков, выпадающих в областях со сложным рельефом поверхности. В отчете также подчеркиваются уникальные возможности и вклад в исследования климата созвездия спутников, осуществляющего миссию Глобального Измерения Осадков. Эти спутники разрабатываются сейчас в США, Японии и Европе для того, чтобы в будущем регулярно – каждые 3 часа – поставлять информацию об осадках на 80% площади земного шара.

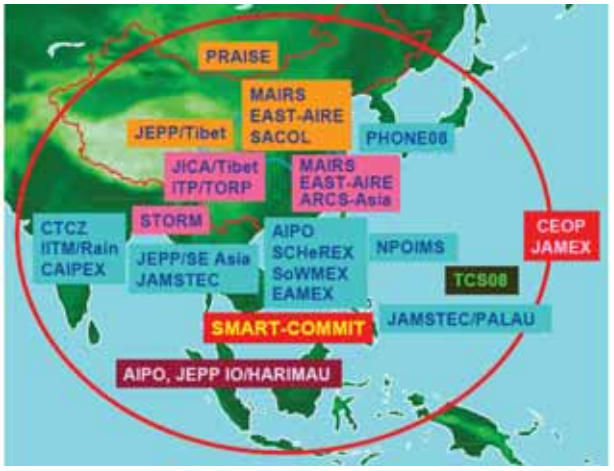


Спутниковые данные по осадкам (мм/день), осредненные за 1979–2003 гг., полученные по Проекту GEWEX по Климатологии Глобальных Осадков (GPCP). Усредненное положение внутритропической зоны конвергенции (ITCZ) четко отображено широкой зоной сильных осадков. Самыми влажными областями земного шара являются тропики на западе Тихого океана, самая восточная часть тропиков Индийского океана и часть материка, а также район тропиков восточной части Тихого океана, продолжающийся в бассейн Амазонки. В северном полушарии областями сильных осадков являются маршруты среднеширотных циклонов вдоль течений Куросио и Гольфстрим.

ПОНИМАНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРИЧИН И ПОСЛЕДСТВИЙ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Прогресс в исследованиях муссонов

Более 70% населения Земли живет под влиянием муссонного климата и связанных с ним частых природных катастроф, таких как наводнения или серьезная нехватка воды (оба эти явления связаны с изменчивостью муссонов). Муссонные системы потенциально очень чувствительны к антропогенным воздействиям, связанным с глобальным потеплением. Научные исследования, организованные ВПИК, и ее участие в различных аналитических оценках вносят вклад в более глубокое понимание этих факторов.



Национальные/региональные проекты в эксперименте Муссонные Годы Азии (AMY 2007–2012).

Муссоны являются результатом взаимодействия между сушей, атмосферой и океаном и включают в себя большое разнообразие процессов различных временных (дни – десятилетия) и пространственных (локальные – региональные – континентальные) масштабов. Наше понимание этих процессов и их взаимосвязей пока далеко от совершенства, и поэтому в предсказании муссонов существуют большие погрешности. Всеобъемлющие и точные наблюдения являются необходимым условием для понимания ключевых муссонных процессов и для того, чтобы эти процессы были представлены в моделях либо явно, либо с помощью физических параметризаций. С усовершенствованием моделей мы сможем улучшить качество прогноза.

Объединенные усилия CLIVAR и GEWEX позволили ВПИК начать исследования в ряде муссонных районов Азии, Африки и Америки. В Азии, а именно в Китае, Японии, Индии и Корее, а также других странах Азии и прилегающих районах основная научная деятельность по муссонам и полевые проекты запланированы на 2008–2010 гг. ВПИК удалось объединить предыдущие разрозненные региональные муссонные исследования в рамках инициативы «Муссонные Годы Азии» (AMY) (http://www.wcrp-amy.org). План реализации задач AMY включает в себя 24 региональных полевых проекта и объединяющие исследования, направленные на совершенствование понимания и прогноза азиатских муссонных систем с помощью гидродинамических моделей.

MESA – Муссонный Эксперимент в Южной Америке (http://www.eol.ucar.edu/projects/mesa) был основан совместной программой «Изменчивость Американских Муссонных Систем» (VAMOS) под эгидой CLIVAR и ВПИК. Его ключевой составляющей стал Южно-Американский Эксперимент

по Струйному Течению Низкого Уровня (SALLJEX; http://www/eol/ucar/edu/projects/salljex/). Эта полевая кампания прошла с 15 ноября 2002 г. по 15 февраля 2003 г. Специальные измерения in situ в Боливии, Парагвае, центральной и северной Аргентине и западной Бразилии позволили заполнить имевшиеся пробелы в наблюдениях и дать более точное описание доминирующего здесь низкоуровневого струйного атмосферного потока. Эксперимент SALLJEX дал количественную информацию по региональным ошибкам глобальных реанализов и подтвердил, что региональные модели способны воспроизводить основные характеристики циркуляции нижних уровней атмосферы над тропиками Южной Америки в теплое время года. Он также показал, что модели с трудом воспроизводят суточный цикл. Результаты эксперимента также позволили улучшить наше понимание процессов, приводящих к выпадению особо сильных дождей, и показать, что для численного прогноза дождя, связанного со струйным потоком на нижних уровнях атмосферы, важную роль играет задание точных начальных условий для поверхности суши. Ученые, сотрудники, студенты и местные добровольцы из Аргентины, Боливии, Бразилии, Парагвая, Перу, США, Уругвая и Чили активно участвовали в мероприятиях этой первой международной кампании ВПИК и CLIVAR в Южной Америке. Результаты эксперимента теперь широко используются в модельных исследованиях Южно-Американских муссонов.

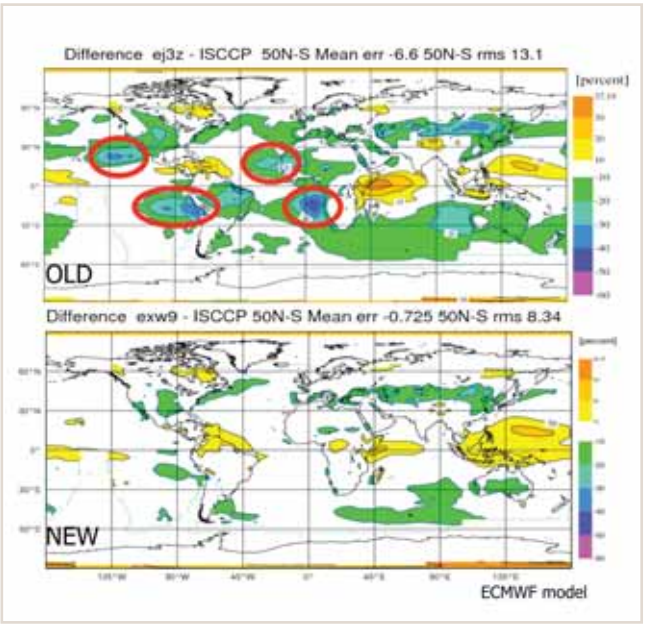
NAME – Северо-Американский Муссонный Эксперимент (http://www/eol/ucar/edu/projects/name) также является компонентом CLIVAR и VAMOS. Он нацелен на выявление источников и пределов предсказуемости осадков теплого сезона над Северной Америкой. Наблюдения NAME направлены на углубление понимания ключевых составляющих Североамериканской системы муссонов (NAM) и их изменчивости на фоне эволюционирующего годового цикла поверхности суши, атмосферы и океана. Деятельность NAME достигла наивысшей точки летом 2004 г. В это время была разработана и проведена кампания интенсивных полевых наблюдений континентального масштаба над северо-западной Мексикой и юго-западом США – так называемый Расширенный Наблюдательный Период (EOP). Программа NAME-EOP использовала наблюдения ряда оперативных систем наблюдений, привлекла к наблюдениям научно-исследовательские суда и самолеты, а также поляризованный исследовательский метеорологический радиолокатор, и включила в программу наблюдений измерения с сети осадкомеров и нескольких профилографов ветра. Информация по обмену и переносу энергии и воды в системе североамериканских муссонов, собранная EOP в 2004 г. впервые достигла такого уровня подробности и точности, который позволил усвоить эту информацию в оперативных климатических моделях, и добиться заметного улучшения прогностической продукции.

Междисциплинарный Анализ Африканских Муссонов (AMMA) – это международный проект, поддерживаемый GEWEX и CLIVAR и рядом других спонсоров. Его целью является улучшение понимания западно-африканских муссонов (WAM) и их изменчивости. Проект сконцентрирован на временных масштабах от дней до нескольких лет. Возникновение AMMA объясняется как интересом к фундаментальным научным вопросам, так и практической необходимостью улучшения прогнозов WAM для защиты населения Западной Африки от их негативных последствий. В проект AMMA вовлечено более 500 ученых, работающих в 140 институтах в 30 странах мира. Ученые сотрудничают в различных областях исследований, включающих процессы, затрагивающие систему «атмосфера-океан-суша», взаимодействие между аэрозолями и муссонами и многомасштабный анализ гидрологического цикла.

Конечной целью является понять, как взаимодействуют и зависят друг от друга западноафриканское сообщество, окружающая среда и климат. Важным достижением AMMA является проведение долгосрочных наблюдений в течение 2001–2009 гг. и научных полевых кампаний 2005–2007 гг., включивших в себя несколько периодов интенсивных наблюдений. Этот проект привел к кардинальным улучшениям в региональной системе радиозондовых наблюдений. По проекту AMMA продолжается проведение целого ряда постоянных и стабильных наблюдений, служащих основой для долгосрочного мониторинга и анализа западноафриканских муссонов. Они включают междисциплинарные измерения на поверхности суши на мезометеорологическом масштабе, выполняемые на специальных полигонах в Бенине, Мали и Нигере, так называемый Заякоренный Массив для Прогнозов и Исследований в Тропической Атлантике (PIRATA), а также метеорологическую сеть, использующую зонды и GPS. По программе AMMA создана уникальная многомасштабная и многопрофильная база данных, используемая как исследовательскими, так и оперативными центрами прогноза погоды и климата на всем земном шаре, особенно в Африке.

От погоды к климату

Достоверные предсказания погоды крайне важны для защиты человеческой жизни и собственности, особенно в экстремальных условиях. Тогда как качество краткосрочного прогноза погоды зависит, в основном, от качества начальных условий для прогностической модели, то для того, чтобы увеличить заблаговременность прогноза до среднесрочной и долгосрочной, модель должна учитывать процессы на поверхности суши, влажность почвы и другие процессы взаимодействия между поверхностью суши или океана и атмосферой. В связи с этим возникает целесообразность разработки «неразрывной» (seamless) системы прогноза, которая включала бы в себя все предсказуемые факторы, существующие для более коротких временных масштабов, для прогнозирования состояния системы Земля на более долгий срок. Разработка объеди-



Ошибки в воспроизведении балла облачности в двух вариантах модели Европейского Центра Среднесрочных Прогнозов Погоды (ECMWF). В старом варианте (сверху) ошибки очень велики, особенно в районах морских stratocumulus (обведено красным), где модель сильно недооценила облачность. Улучшенный учет облаков, достигнутый в результате Проекта GEWEX по Изучению Систем Облачности (GCSS), привел к значительному сокращению ошибок в более поздней модели (внизу). Набор данных, использованный для сравнения, был создан Международным Проектом по Спутниковой Климатологии Облаков, тоже в рамках GEWEX.

няющего подхода к прогнозированию погоды, климата, состояния природной среды и гидрологическим прогнозам требует широкого взгляда на систему Земли, выходящую далеко за пределы традиционных атмосферных научных дисциплин. Такая система прогноза будет базироваться на технологических решениях высокого уровня и будет построена на исследованиях по метеорологическому прогнозу, координируемых WMO.

Создание Рабочей Группы по Численному Экспериментированию (WGNE) в 1985 г. при ВПИК и Комиссии WMO по Атмосферным наукам (CAS) укрепило сотрудничество ВПИК с оперативными и исследовательскими центрами погоды. WGNE является основной группой, объединяющей экспертов наивысшего уровня, способных предоставлять рекомендации по развитию и деятельности всем существующим центрам численного прогноза погоды, и стимулировать развитие численного экспериментирования с целью совершенствования моделей, используемых научным сообществом для прогнозирования погоды и климата. Многие процессы, немаловажные для погоды и климата, происходят в пространственных масштабах, слишком малых для того, чтобы они могли быть явно разрешены шагами численной сетки современных моделей, используемых в численном прогнозе погоды (NWP), сезонных прогнозах и климатическом моделировании. Сотрудничество экспертной группы по моделированию и прогнозам GEWEX с WGNE и Проектом WGCM по сравнению моделей обратных связей, включающих процессы в облаках (CFMIP), привело к значительному улучшению параметризаций облаков и конвекции, используемых лидирующими центрами прогноза погоды и климата.

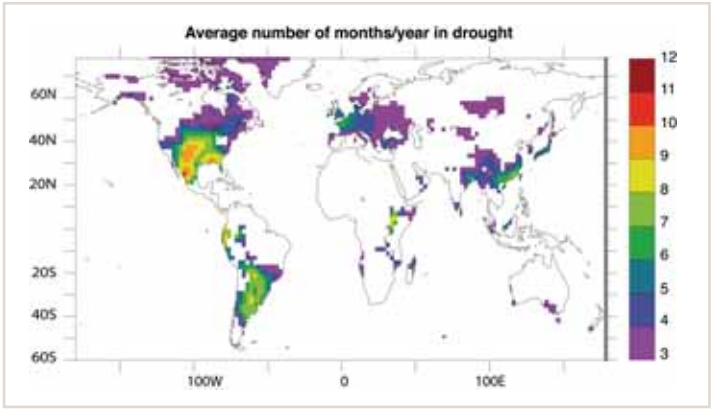
Правдоподобное представление тропической конвекции в глобальных моделях давно является серьезной проблемой, как для численных прогнозов погоды, так и для предсказания климата. Недостаточность наших познаний в этой области ограничивает возможности моделирования и предсказания погодных явлений и процессов в тропической атмосфере на региональном и глобальном уровнях. Примеры таких явлений и процессов включают Внутритропическую Зону Конвергенции (ITCZ), Эль-Ниньо – Южное Колебание (ENSO), Квазидвухлетнее Колебание (TBO) в тропиках, муссоны и периоды их усиления и ослабления, Колебания Маддена-Джулиана (MJO), субтропическую слоистую облачность, процессы в верхнем слое океана, планетарные волны восточного направления и тропические циклоны. Более того, в результате суперпозиции конвекции и волн тропическая конвекция оказывает заметное влияние на взаимодействие стратосферы и тропосферы, крупномасштабную циркуляцию верхней атмосферы и динамические процессы во внетропических областях. Чтобы достичь прогресса в этом трудном научном вопросе, ВПИК и Всемирная Программа Исследований Погоды (WWRP), а также участники Эксперимента по Исследованию Системы Наблюдений и Предсказуемости (THORPEX), выдвинули идею проведения Года Координированного Наблюдения, Моделирования и Прогнозирования Организованной Тропической Конвекции, ее прогноза и предсказуемости (Год Организованной Тропической Конвекции или YOTC, http://www.ucar.edu/yotc). Намерение состоит в том, чтобы эффективно объединить для исследования организованной тропической конвекции обширные существующие и новые наблюдения, непрерывно возрастающие вычислительные ресурсы, и новые подходы к моделированию с высоким пространственным разрешением. Успешное проведение YOTC требует координации работ и сотрудничества между сообществами специалистов, представляющих оперативный прогноз, исследовательские лаборатории и университеты. Объединение усилий этих сообществ поможет YOTC про-

двинуть вперед диагностику, моделирование, параметризацию и предсказание разномасштабной тропической конвекции и более полно учитывать взаимосвязи между тропиками и внетропическими зонами при рассмотрении научных проблем взаимодействия погоды и климата. Работа в рамках YOTC началась в середине 2008 г. Предполагается, что она внесет большой вклад в инициативу «Муссонные Годы Азии» (AMY) и Региональную Кампанию THORPEX по Тихому океану (TPARC), а также в Международный Год Планеты Земля под эгидой ООН.

Понимание и описание изменений экстремальных климатических условий

Группа Экспертов по Выявлению и Индексам Изменения Климата (ETCCDI; www.clivar.org/organization/etccdi.php) была создана в связи с необходимостью введения долговременных показателей изменения климата и создания индексов экстремальных климатических явлений, которые были бы признаны на международном уровне. Спонсорами этой Группы Экспертов являются Комиссия по Климатологии WMO (CCl), ВПИК/CLIVAR и Совместная Техническая Комиссия WMO и IOC UNESCO по Океанографии и Морской Метеорологии (JCOMM). Подробный перечень согласованных индексов, разработанных ETCCDI, имеется по адресу http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDI, где также можно получить доступ к программам для подсчета индексов. Многие модели климата, использованные для подготовки ОД4 МГЭИК, рассчитали подмножество этих индексов. Эти индексы в состоянии показать, насколько хорошо модели описывают экстремальные явления. Работа над индексами продолжается, и будущие их модификации будут более информативно и надежно отражать влияние климатических изменений на экстремальные явления.

ETCCDI провела серию региональных семинаров для обучения анализу климатических данных. На них были приглашены участники из близлежащих стран и ряд высококвалифицированных экспертов со всего мира. Участники семинаров предоставили данные из своих стран для контроля их качества, проверки однородности и анализа. Участники смогли быстро оценить наличие или нехватку данных по отдельным районам, и таким образом понять преимущества последовательного регионального анализа, основанного на полном наборе национальных баз данных. Таким образом, региональные



KIRSTEN L. FINDELL, AND THOMAS L. DELWORTH

Среднее число месяцев/лет засухи по результатам пяти атмосферных моделей (относительно климатологии каждой модели), индуцированных с использованием одних и тех же идеализированных аномалий температуры поверхности моря , которые воспроизводят холодные условия Ля-Нинья и теплые условия в Атлантике. Показано, что на засухи в Сев. Америке сильно влияют температуры поверхности моря в Тихом и Атлантическом океанах. (Это также верно для юга Юж. Америки и, в меньшей степени, для большей части Европы и Юго-Вост. Азии).

семинары внесли важный вклад в наращивание потенциала и укрепление знаний.

В результате проведения канадского проекта под названием «Инициатива по Исследованию Засухи» (DRI; www.drinetwork.ca) GEWEX удалось добиться большого успеха в понимании этого явления. DRI была основана в 2005 г. «чтобы лучше понять физические характеристики и процессы, влияющие на засухи в канадских прериях, и улучшить их предсказание, фокусируясь на суровых засухах, начавшихся в 1999 г. и продолжавшихся, в основном, до 2005 г.». Эта 5-летняя многопрофильная программа исследований проходила по пяти направлениям, дополняющим друг друга, и включала количественное описание, понимание и улучшение прогноза конкретных засух, а также сравнения с другими засухами и оценку воздействия засух на общество. В рамках Проекта был также проведен анализ данных и оценка индексов, использующихся для характеристики засух. В полевых условиях были собраны уникальные базы данных, необходимые для установления и количественного описания критических мезо- и микромасштабных процессов, отвечающих за поддержание засухи. Эти данные также используются при оценке работы моделей в условиях засухи и для развития усовершенствованных параметризаций в региональных и гидрологических моделях, необходимых для предсказания засух и их последствий. DRI провели экспериментальную апробацию своей Системы Раннего Оповещения о Засухах (DEWS), и она стала центральной темой активного диалога, установленного с сообществом пользователей.

Программа CLIVAR в США (US CLIVAR, http://www.usclivar.org) возглавила работу по совершенствованию прогноза длительных (многолетних) засух в Северной Америке и других районах земного шара, подверженных засухам. CLIVAR также провел оценку воздействия глобальных изменений на сами процессы засухи. Засушливость климата, и, в особенности, затяжные многолетние засухи, наносят колоссальный социально-экономический ущерб Соединенным Штатам и многим другим странам. Недавний прирост населения в районах с ограниченными запасами воды сам по себе уже привел к усилению угрозы засухи, и в то же время прогнозы климатических изменений говорят о том, что в XXI-м веке засушливые условия могут наступать чаще, чем прежде. Отмечена общность климатических факторов способствующих возникновению засух и физико-географических условий, из-за которых одни районы поражаются больше, чем другие. Рабочая группа проекта CLIVAR, специально созданная в США для изучения засух, рассмотрела роль, которую играют в образовании засушливых условий на суше аномалии температур поверхности океана (ТПО). Был организован эксперимент с использованием наиболее совершенных климатических моделей, имеющихся в США, с тем, чтобы

Падение уровня воды из-за засухи в озере Мид (США) в октябре 2007 г. по сравнению с 1999 г.

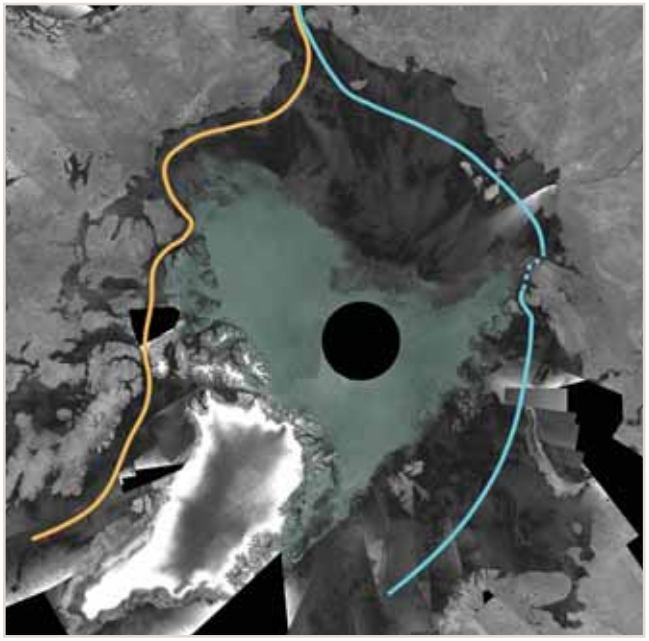
понять, в состоянии ли эти модели отразить важнейшие закономерности распределения ТПО, связанные с Эль-Ниньо – Южным Колебанием и Северо-Атлантическим Колебанием.

Вклад в успех МПГ

Международный Полярный Год 2007–2008 (МПГ) объединил более 50 000 участников из почти 60 стран мира и стал одной из самых крупных кампаний в истории научных исследований окружающей среды. ВПИК поддержала концепцию МПГ на ранних стадиях ее развития и принимала активное участие в обсуждениях и формулировке его программы. Проект CliC проводил общую координацию вклада ВПИК в МПГ. Проект «Жизнь и Судьба Полярной Криосферы», руководимый Научным Советом CliC, стал головным проектом МПГ по криосфере. Все существующие проекты ВПИК вынесли один или несколько проектов на обсуждение Объединенного Комитета МПГ, и более 20 таких проектов, включая рамочный проект «Климат Антарктиды и Южного океана» (CASO), руководимый CLIVAR, были одобрены Комитетом как крупные комплексные исследовательские направления.

Ведомая CliC Криосферная Тема Партнерства по Объединенной Стратегии Глобальных Наблюдений (IGOS) выступила с рядом рекомендаций по развитию систем наблюдения за полярными районами и криосферой и определила временные рамки МПГ в качестве первой фазы их выполнения. Одна из рекомендаций, сформулированных Криосферной Темой, была внедрена через проект «Глобальный Межведомственный Полярный Снимок МПГ» (GIIPSY). Этот проект был предложен ведущим спутниковым агентствам и координировался совместно с ними. Проект внес вклад в укрепление сотрудничества между космическими агентствами в области полярных наблюдений и привел к внедрению первых так называемых «виртуальных созвездий» спутников в полярных районах. Собранный архив данных, в особенности с использованием данных с радаров с синтетической апертурой, представляет собой уникальный «снимок» полярной криосферы, а также богатый источник данных для будущих исследований криосферы. Работая с партнерами и при их посредничестве, ВПИК добилась значительного прогресса в создании комплексной Системы Наблюдений за Северным Ледовитым океаном (iAOOS) и Системы Наблюдения Южного океана (SOOS). В рейсах, проведенных до и во время МПГ, было отмечено и подтверждено значительное потепление Южного океана. Это потепление, скорее всего, будет играть важную роль в предстоящем подъеме уровня Мирового океана.

Осадки являются одним из ключевых компонентов гидрологического цикла и представляют собой очень важную переменную для анализа глобальных изменений. Изменения в осадках оказывают серьезное воздействие на гидрологические условия, климат и состояние экосистем. Тем не менее, в наблюдениях осадков, произведенных с помощью осадкомеров, существуют значительные (до 100%) систематические ошибки. Эти погрешности должны быть задокументированы и исправлены для того, чтобы можно было получить точный и совместимый со спутниковыми наблюдениями набор данных для крупномасштабных гидрологических и климатических исследований. Климат высоких широт характеризуется низкими температурами, и, как правило, малым количеством осадков и сильными ветрами. Из-за климатических особенностей высоких широт погрешности наблюдений с помощью осадкомеров в них больше, чем в низких широтах, и эти погрешности должны приниматься во внимание. Во время МПГ проект

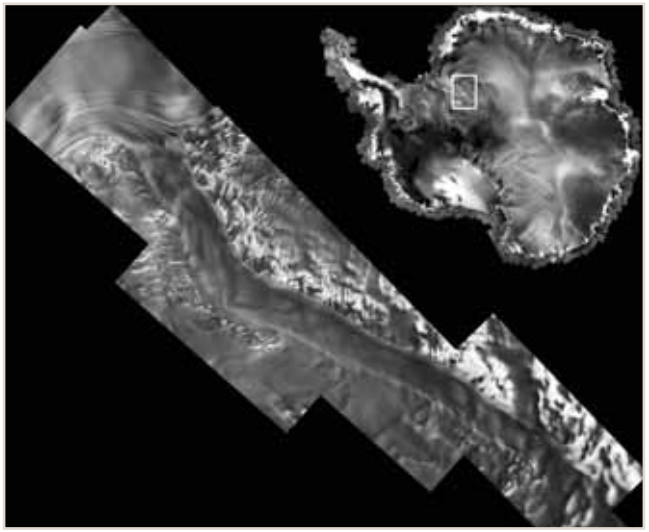


ESA

Фотомонтаж распространения морского льда в Северном Ледовитом океане в сентябре 2007 г. по материалам ESA ENVISAT ASAR. Это – минимальный покров за весь период наблюдений за морским льдом из космоса. Темно-серым цветом показано отсутствие льда, а зеленым – пространства с морским льдом. Северо-Западный проход открыт (оранжевая линия), а Северный морской путь лишь частично перекрыт льдом (голубая линия).

CliC и связанные с ним группы ученых сконцентрировались на изучении проблемы погрешностей в измерении осадков в районах высоких широт. Были проведены эксперименты, чтобы оценить точность измерения осадков, а также внедрить соответствующие методы коррекции для высокоширотных регионов (Аляска, северная Канада, Сибирь, северная Европа, Гренландия и Северный Ледовитый океан). В результате этих усилий для всей Арктики были созданы совместимые базы данных и климатологические обобщения по осадкам, с привязкой к координатной сетке и с поправками на систематические погрешности.

Проект МПГ «Структура и Эволюция Полярной Стратосферы и Мезосферы и связи с тропосферой в течение МПГ» (SPARC-IPY) был выполнен под руководством SPARC и связан с рядом других мероприятий МПГ. Главной целью программы была максимально подробная документация динамики и химии полярной стратосферы в течение всего МПГ. Чтобы дополнить результаты, полученные новыми программами измерений, участники SPARC-IPY в течение всего МПГ собирали и архивировали результаты объективного анализа из основных метеорологических

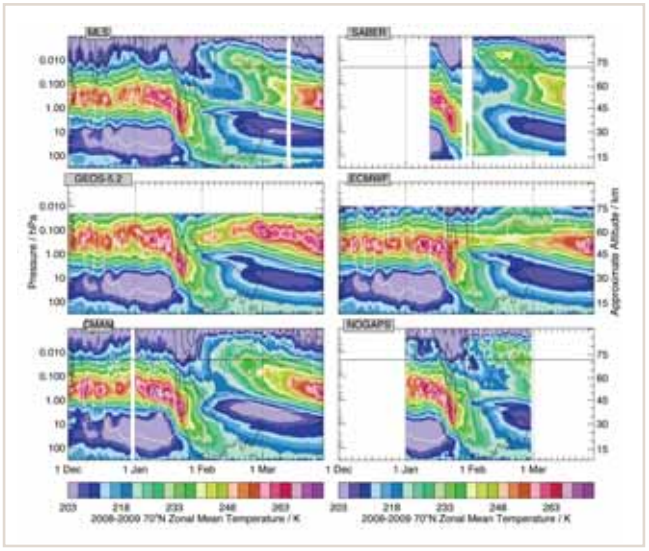


CREDITS: DANA FLORICIOIU, GERMAN AEROSPACE CENTER (DLR)

Фотомонтаж одного из языков ледника Рекавери в Антарктиде (в центре), составленный по материалам, полученным TerraSAR-X между ноябрем 2008 г. и январем 2009 г. Участок размером 250 м на 70 км расположен на 82,5° ю.ш. 19° з.д. (врезка вверху справа). Снято с пространственным разрешением 3,0 м.

центров, включая данные о химических элементах и систем, способных усваивать химические наблюдения.

Продолжающаяся работа ВПИК в области наблюдений вносит важный вклад в сохранение и дальнейшее развитие наследия МПГ. Эта деятельность будет координироваться



GLORIA MANNEY, NASA/JET PROPULSION LABORATORY

Эволюция во времени вертикального профиля средней зональной температуры на 70° с.ш. в течение января-марта 2009 г. Показано внезапное стратосферное потепление в конце января. Данные с двух спутниковых приборов (Microwave Limb Sounder и SABER) и из четырех объективных анализов из архива SPARC-IPY. Два из них (GEOS-5.2 и ECMWF) являются оперативными продуктами, один – из научной системы усвоения, не использующей наблюдения выше 50 км, и один (NOGAPS) – из научной системы усвоения наблюдений MLS и SABER. Это сравнение демонстрирует пользу применения высокого разрешения в стратосфере и точного отображения сопротивления, производимого гравитационными волнами.

в рамках Инициативы по Поддержке Сетей Арктических Наблюдений (SAON), Пан-Антарктической Наблюдательной Системы (PAntOS) и Глобальной Криосферной Службы WMO (GCW). Основываясь на этих усовершенствованных наблюдениях и более глубоком понимании полярных процессов, ВПИК продолжит сотрудничество с Всемирной Климатической Программой по созданию Форума по Полярному Климатическому Прогнозированию. Этот Форум будет распространять самые последние доступные научные знания о полярных регионах в целях поддержания политических и управленческих решений, которые смогут помочь сохранить полярные экосистемы и природную среду.

ПОДГОТОВКА СЛЕДУЮЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ ЭКСПЕРТОВ: РАЗВИТИЕ ПОТЕНЦИАЛА

ВПИК осознает острую необходимость развития интеллектуального потенциала, необходимого для будущего развития климатических исследований, в том числе в рамках самой ВПИК. Сложность климатических задач, необходимость понимания последствий климатических колебаний и изменений для всего человечества, экономики, экосистем и окружающей среды в глобальном, региональном и локальном масштабе, требует объединения многих научных дисциплин.

ВПИК определила потребность в подготовке ученых для анализа и интерпретации климатической информации, чтобы иметь возможность лучше информировать специалистов, занимающихся планированием адаптации к изменениям климата и управлением соответствующими рисками. В июле 2006 г. Группа экспертов ВПИК/CLIVAR по Колебаниям Климата Африки организовала учебный семинар на тему предсказуемости и прогноза климатических

изменений в южной и восточной Африке и воздействия прилегающих океанов (Дар-эс-Салам, Танзания, 2006 г.). Одним из спонсоров этого курса был START – Система для Анализа, Исследований и Обучения, а нацелен он был, в основном, на старший оперативный персонал национальных метеорологических и гидрологических служб, отвечающий за долгосрочные прогнозы.

В 2007 г., совместно с Международным Центром Теоретической Физики (ICTP), функционирующим по тройственному соглашению между итальянским правительством, ЮНЕСКО и Международным Агентством по Атомной Энергии, ВПИК организовала в Триесте (Италия) международный учебный семинар по анализу и интерпретации ансамблевых климатических расчетов для XX и XXI столетий. 30 участников семинара из развивающихся стран работали над проектами, относящимися к сфере интересов их стран и организаций, используя прогностических архив проекта ВПИК CMIP3. На повторном учебном семинаре, состоявшемся в Триесте год спустя, они также научились оценивать возможные погрешности прогнозов изменения регионального климата с помощью региональных климатических моделей (РКМ).

ВПИК помогла принять участие в учебных мероприятиях и конференциях рекордному числу начинающих молодых ученых, в том числе из развивающихся стран. В частности, ВПИК спонсировала 53 студентов, 32 из которых были представителями развивающихся стран, для активного участия в Генеральной Ассамблее SPARC, прошедшей в августе 2008 г. в Болонье (Италия). При поддержке ВПИК эти студенты представили свои результаты на Ассамблее либо в виде устных докладов, либо постеров.

Совместно с проектами Международной Программы по Геосфере и Биосфере (IGBP) IMBER (Комплексные Исследования Морской Биогеохимии и Экосистем) и GLOBEC (Глобальная Динамика Океанских Экосистем), а также участниками проекта EUR-OCEANS, ВПИК провела первый в своем роде учебный семинар по климату и экосистемам для молодых ученых-океанологов (Брест, Франция, апрель 2008 г.). Этот семинар познакомил молодых ученых из различных областей науки с исследованиями по системе «Земля». Основной упор был сделан на вопросах взаимодействия физического климата, морской биогеохимии и экосистем.

Вместе с проектом IGBP PAGES (Глобальные Изменения в Прошлом) ВПИК провела летнюю школу по динамике и прогнозированию Эль-Ниньо (Гавайские острова, США, июне 2008 г.). 16 студентов старших курсов университетов из 10 стран, обучающихся океанологии, метеорологии и геологии, были познакомлены с широким спектром вопросов, связанных с Эль-Ниньо. В дополнение к 3-4 часам ежедневных лекций студенты выполнили самостоятельные научные исследования. Разбившись на группы, они изучали влияние Эль-Ниньо на Антарктический полуостров; быстрое прекращение явления Ла-Нинья в 2008 г., спровоцированное усилением восточного переноса в атмосфере; географическое распространение гигантской тропической засухи примерно 4200 лет назад; влияние мелкомасштабного случайного шума на предсказуемость Эль-Ниньо; динамику формирования значительного объема аномально теплых вод, связанных с Эль-Ниньо; влияние десятилетних колебаний температур поверхности воды в Атлантике на Эль-Ниньо и роль экваториальных волн в механизме «подзарядки» Эль-Ниньо.

По Программе Углубленного Обучения Национального Центра США по Атмосферным Исследованиям (NCAR), совместно с ВПИК и GLOBEC, в 2009 г. был организован

летний Коллоквиум по Морским Экосистемам и Климату. На этом коллоквиуме студентам старших курсов, изучающим климат и морские экосистемы, было дано фундаментальное введение в наборы данных наблюдений, продемонстрированы конкретные примеры их использования, а также рассмотрено современное моделирование морских экосистем в контексте климатических изменений. Всесторонний подход к изучению взаимодействия климата и экосистем обычно не освещается в регулярных университетских курсах, поэтому этот коллоквиум предоставил студентам уникальную возможность изучить имеющиеся научные подходы и познакомиться с их практическим применением. Немаловажно, что коллоквиум также способствовал развитию сотрудничества между студентами, изучающими морские экосистемы, климат и дисциплины, связанные с климатическими воздействиями (http://www.asp.ucar.edu/colloquium/2009/CGD/index.php).

НАБЛЮДЕНИЕ ЗА КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ И ЕЕ АНАЛИЗ

Разработка и совершенствование комплексной системы наблюдений

Климатические наблюдения создают основу для исследований климата. Они также используются для задания начальных условий при его прогнозировании. В связи с этим непрерывность и однородность климатических наблюдений на протяжении многих десятилетий чрезвычайно важны для оценки климатических колебаний и изменений. В то время как сеть наблюдений за планетой Земля расширяется, наладка и поддержка глобальных измерений основных климатических переменных по-прежнему оказывается непростым делом. Они требует международной координаций усилий различных организаций и программ, проводящих измерения, и согласования требований к наблюдениям с потребителями климатической информации. ВПИК неустанно работает над созданием надежной глобальной системы климатических наблюдений. Многочисленные мероприятия проводятся Экспертными Группами Океанских Наблюдений по Климату (OOPC), Атмосферных Наблюдений по Климату (AOPC) и Наблюдений на Суше по Климату (TOPC), а также Экспертной Группой ВПИК по Наблюдениям и их Усвоению (WOAP). Эта деятельность осуществляется совместно с Глобальной Системой Наблюдений за Климатом (GCOS). Основные задачи состоят в обеспечении соответствия наблюдений национальным и международным стандартам данных в области климатических исследований, анализа и прогноза климата, а также для того, чтобы все относящиеся к климату данные и другая информация получались, сохранялись и распространялись без каких-либо ограничений.

Экспертная Группа ВПИК по Наблюдениям и их Усвоению (WOAP) была создана для интеграции деятельности ВПИК, связанной с наблюдениями и внедрением данных. Ее ключевой задачей является обеспечение контакта ВПИК с GCOS и связанными с ней программами. Работа экспертной группы WOAP продемонстрировала сообществу роль ВПИК в развитии наблюдательных систем, и в настоящее время WOAP активно участвует в международном диалоге по новым наблюдениям, приоритетам в наблюдениях и других мероприятиях, происходящих на климатической арене. WOAP внесла вклад в координацию развития научных баз данных и усвоения данных в рамках проектов ВПИК. Кроме того, ее работа позволила подготовить научно-обоснованные рекомендации ВПИК по вопросам наблюдений для ее партнеров – в частности, GCOS, и для более широкого сообщества по наблюдениям

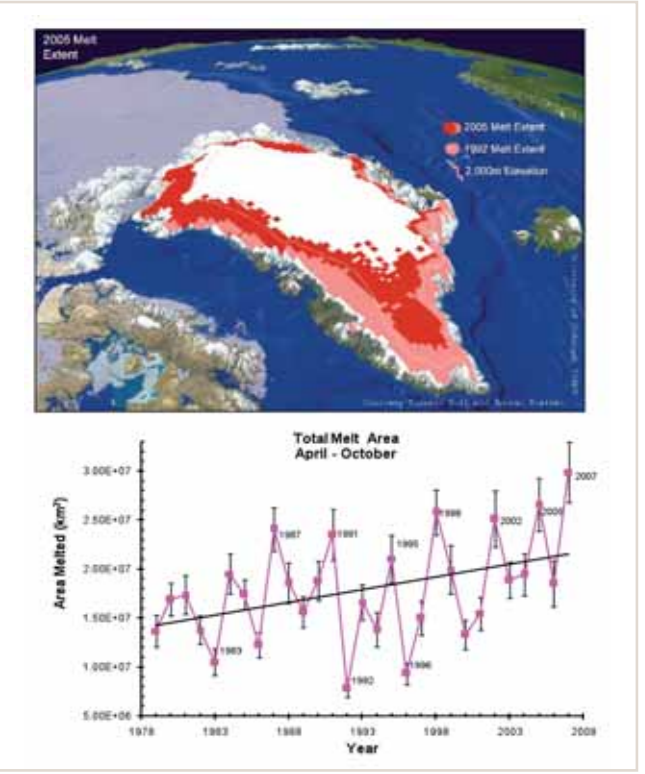
за Землей – например, Группы по Наблюдению за Землей (GEO) и Комитета по Спутникам Наблюдения Земли (CEOS).

В дополнение WOAP выступила в качестве лидера при формулировке требований к наблюдениям для реанализа. Такие глобальные анализы являются мощными стимулами расширения и развития непрерывных, оптимизированных и стандартизированных наблюдений за Землей в атмосфере, океане и на поверхности суши. Учитывая значение предстоящей работы по реанализу климатической системы, а также необходимость улучшить соответствующие базы данных по наблюдениям, GEO сформулировала специальное задание по этим видам деятельности и включила его в план работы на 2009–2011 гг.

Координация наблюдений и научной продукции в области криосферы

В 2003–2007 гг. Проект ВПИК CliC, вместе с Научным Комитетом по Исследованиям Антарктики (SCAR), отвечали за подготовку Отчета по Теме Криосферы в рамках Объединенной Стратегии Глобальных Наблюдений (IGOS). Отчет был одобрен Партнерством IGOS в мае 2007 г. – через 3 месяца после начала Международного Полярного Года. Он был написан 80 экспертами в различных дисциплинах, связанных с криосферой, и содержал план будущего развития криосферных наблюдений, основанный на консенсусе, достигнутом сообществом ученых в сфере криосферных наук. Создание Системы Наблюдения за Криосферой IGOS (CryOS) было предложено разбить на 3 фазы: 2007–2009 (период МПГ), 2010–2015 (период, для которого уже известно, данные с каких спутников будут доступны), и период после 2015 г. (для которого спутники еще только рассматриваются или разрабатываются). Отчет IGOS по Теме Криосферы оказал помощь при формулировке программы МПГ, создал основу для одобрения предложения об основании при WMO Глобальной Криосферной Службы (GCW), послужил мощным инструментом для планирования запуска спутников и криосферных исследований, а также помог обеспечить достаточное внимание к криосфере при планировании деятельности GCOS.

В 2007 г. XV Конгресс WMO принял предложение Канады изучить возможность установления при WMO Глобальной Криосферной Службы (GCW) в качестве наследия МПГ.



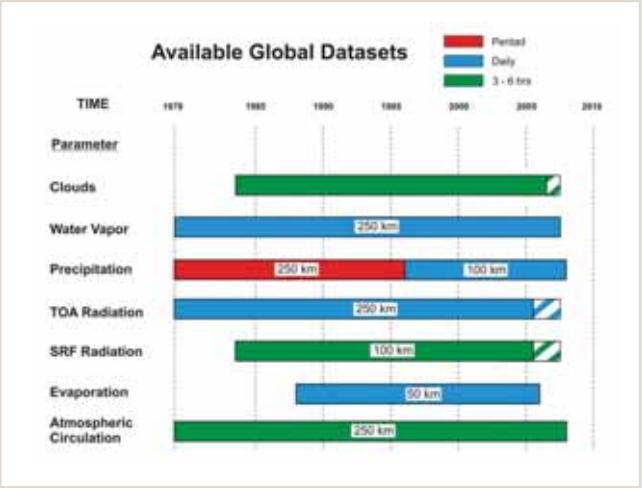
K. STEFFEN CIRES/UNIVERSITY OF COLORADO

Таяние ледяного щита Гренландии по материалам космической съемки. Показано расширение ареала таяния с 1978 по 2007 г.

Предложение, в основном, следовало рекомендациям Криосферной Темы IGOS. GCW призвана обеспечить международный механизм для поддержки всех ключевых криосферных наблюдений – как in situ, так и со спутников. Она будет также включать мониторинг криосферы, оценку, разработку новой научной продукции в виде данных и информации, прогноз и научные исследования. Целью GCW является предоставление четкой, понятной и полезной информации о прошлом, текущем и будущем состоянии криосферы средствам массовой информации, населению, политическим и руководящим кругам, которое производилось бы уполномоченным на это органом. Общество, в целом, так же только выиграет от деятельности GCW. Вместе со своими партнерами ВПИК будет продолжать развивать концепцию GCW и поддерживать ее деятельность на начальном этапе работы.

В июне 2006 г., вместе с одним из своих спонсоров – Межправительственной Океанографической Комиссией ЮНЕСКО (IOC-UNESCO), ВПИК организовала конференцию под названием «Понимание подъема уровня моря и его колебаний» (Париж, Франция). 150 ее участников обобщили состояние науки и наметили требования к будущим исследованиям и наблюдениям для оценки и прогноза подъема уровня моря. При оценке подъема уровня Мирового океана в будущем учитывается вклад термического расширения океана, влияние ледников, ледяных щитов, вертикальное перемещение суши и морского дна вследствие уменьшения нагрузки массы льда, в частности, после последнего ледникового максимума (называемое изостатическим перемещением суши), тектонических процессов и изменения объема вод на суше. Для каждого из этих факторов были проанализированы погрешности, чтобы вывести общую погрешность прогноза. Также были рассмотрены возможные последствия общего подъема уровня моря с точки зрения изменения частоты и интенсивности экстремальных явлений. Готовится к публикации книга, обобщающая современные знания о состоянии уровня моря. После конференции был разработан план дальнейших исследований подъема уровня моря, а в июне 2009 г. 25-я сессия Ассамблеи IOC утвердила создание совместной Рабочей Группы ВПИК и IOC по Колебаниям и Изменениям Уровня Моря. Эта рабочая группа будет готовить регулярные отчеты о состоянии знаний об уровне моря и его изменениях, причем не только о среднем уровне моря, но и его географическом распределении.

С момента учреждения проекта GEWEX, его участники, преимущественно в рамках группы экспертов по радиации, проводили глобальный анализ климатической системы на основе спутниковых данных и научной продукции, подготовленной с их помощью. Одним из самых ранних начинаний был Международный Проект по Спутниковой Климатологии Облаков (ISCCP), который к настоящему времени закончил составление обширного реестра характеристик облаков земного шара по данным последних 20 лет. Аналогичные климатические реестры (архивы) были составлены Глобальными Проектами GEWEX по Климатологии Осадков (GPCP), Водяному Пару (GVAP) и Климатологии Аэрозолей (GACP). Длительные временные ряды данных были также созданы для радиационного баланса на верхней границе атмосферы. В последние годы были произведены попытки определить потоки энергии и воды на поверхности Земли. Наиболее заметными из них являются Проект по Балансу Приземной Радиации, Базовой Сети Приземной Радиации, проекты SeaFlux и LandFlux. Наследство этих проектов и подготовленные базы данных будут незаменимы при продолжении работы над углубленным пониманием процессов системы Земли, развития, проверки и оценки климатических моделей,



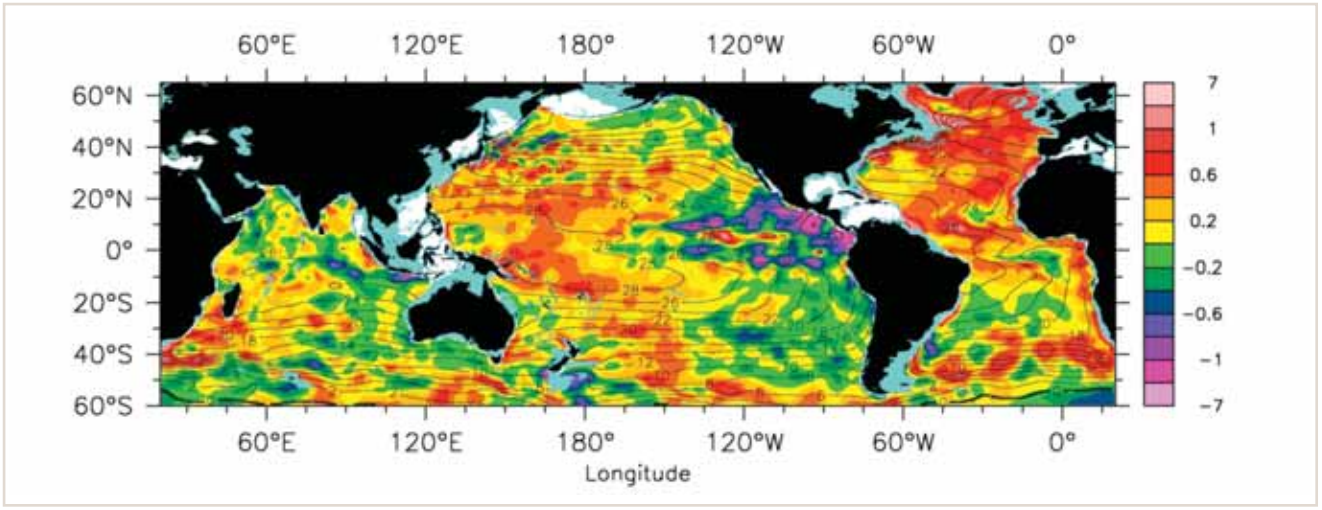
Доступные глобальные базы данных, одобренные в качестве продукции Группы Экспертов GEWEX по Радиации (GRP). Продукция GRP отвечают высоким стандартам производства и документирования, состоят из доступных космических и контактных наблюдений и постоянно сопоставляются с другими продуктами.

а также для оценки климатических колебаний и изменений в прошлом.

Поддержание и развитие наблюдений в океане

Основываясь на рекомендациях, разработанных преимущественно сообществом ВПИК, за последние 30 лет ученые добились существенного прогресса во внедрении основ глобальной системы наблюдений за климатом океана. Три завершенных научных проекта ВПИК (TOGA, 1985–1994; WOCE, 1990–2002; и ACSYS, 1994–2002) включали в себя обширные океанографические исследования, в результате которых стало возможным предсказывать Эль-Ниньо, улучшилось наше понимание взаимодействия океана с атмосферой и влияния Арктики на климат, а также была проведена беспрецедентная по охвату одновременная съемка Мирового океана. Развивая наследие проектов TOGA и WOCE, CLIVAR продолжает работу по созданию устойчиво функционирующей системы наблюдений за океаном. Она послужит основой для задания начальных условий для климатических прогнозов – от сезонных до многолетних; изучения и мониторинга колебаний и изменений бароклинной циркуляции океана и переноса в океане тепла, пресной воды и углерода; а также обеспечения информации по потокам между океаном и атмосферой с целью более точного описания влияния океанов на климатическую систему Земли. В частности, CLIVAR активно поддерживал разработку и запуск по всему земному шару системы океанских профилографов Арго. Их число уже вышло на запланированный уровень – 3000, при котором оказывается возможным производить мониторинг температуры и солености в верхней 2-х километровой толще океана.

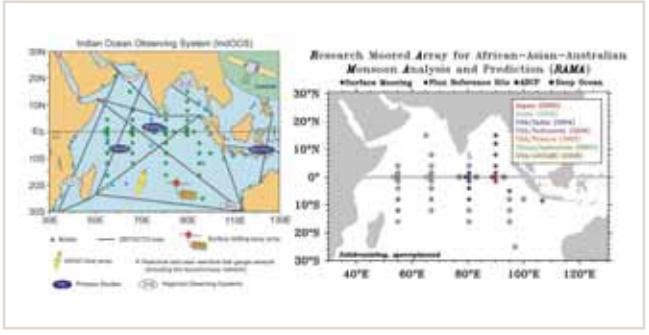
Действующие профилографы АРГО в мае 2009 г. Концепция Арго возникла в середине 1990-х годов во время эксперимента WOCE и превратилась в глобальный массив благодаря проекту CLIVAR и другим участникам международных исследований океана (http://www.argo.ucsd.edu/).



COURTESY OF ROEMMICH AND GILSON, 2009

Температурные аномалии в верхней 100-метровой толще океана, полученные путем вычитания климатологических значений (World Ocean Atlas 2001) из температур из базы данных Арго, осредненных за 5 лет. Данные Арго показывают потепление океана на протяжении многих десятилетий.

По всему океану сейчас насчитывается около 8000 измерительных платформ, функционирование которых поддерживается международным сообществом. Они включают сети поверхностных дрифтеров, заякоренных буев в тропиках, профилографы Арго и суда добровольного наблюдения. Вместе со спутниками эти наблюдательные средства поставляют непрерывные, долгосрочные глобальные наблюдения за Мировым океаном именно такого качества, которое необходимо для климатических исследований.



Распределение наблюдательных массивов IndOOS (слева) и RAMA (справа). Сплошными кружками показаны места, на которых уже размещены датчики.

ВПИК, через свой проект CLIVAR, активно развивает региональные составляющие глобальной системы наблюдений за океаном и старается подключить к этой работе новых заинтересованных партнеров. Примером может служить устойчиво функционирующая система наблюдений в Индийском океане и продолжающееся развитие системы мониторинга меридиональной океанской циркуляции в Атлантике. Индийский океан, несмотря на его важность для региональной и глобальной климатической системы

(муссоны, Эль-Ниньо и Северо-Атлантическое колебание), в наименьшей степени покрыт наблюдениями. Наша уверенность в достоверности понимания происходящих в Индийском океане процессов также минимальна по сравнению другими тремя океанами, где есть тропические области. В сотрудничестве с IOC и Глобальной Системой Наблюдения Океана (GOOS) CLIVAR в 2005 г. организовал Группу Экспертов по Индийскому океану (IOP, http://clivar.org/organisation/indian/indian.php) для разработки основ комплексной системы наблюдения за Индийским океаном для целей климатических исследований, прогноза и руководства ее внедрением. Группа экспертов по Индийскому океану начала работу с развития стратегии контактных наблюдений в дополнение к существующим и запланированным спутниковым наблюдениям. Получившаяся система, известная под названием Система Наблюдений за Индийским Океаном (IndOOS http://www.clivar.org/organization/indian/IndOOS/obs.php) базируется на проверенных технологиях, включающих заякоренные буи, поплавки Арго, измерения, проводимые с судов добровольного наблюдения, дрейфующие буи и самописцы уровня моря. Ключевым элементом IndOOS является массив заякоренных буев, известный как «Научный Заякоренный Массив для Анализа и Прогноза Африканских, Азиатских и Австралийских муссонов» (RAMA). RAMA разработан специально для изучения крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы, динамики верхнего перемешанного слоя и океанской циркуляции с акцентом на муссоные процессы в области временных масштабов от внутрисезонных до нескольких десятилетий. Внедрение RAMA приведет к созданию глобальной сети массивов тропических заякоренных буев, в которые также войдут массив Тропическая Атмосфера Океан (TAO/TRITON) в Тихом океане и Заякоренный Массив для Прогноза и Исследований (PIRATA) в Атлантике.

Результаты расчетов по климатическим моделям говорят, что меридиональная циркуляция (MOC) в Атлантике и соответствующий океанический поток тепла значительно меняются от года к году. В дополнение к возможности резких климатических изменений, в результате которых MOC может фактически полностью затормозиться, расчеты по некоторым моделям показывают, что «естественные» колебания в пределах десятилетий могут составлять от 20 до 30% от многолетнего среднего значения. До недавнего времени, однако, не существовало прямой системы измерений, которая давала бы регулярные оценки MOC и позволяла бы оценить ее природную изменчивость или оценить качество модельных прогнозов. Такая система теперь размещена вдоль широтного круга 26,5° с.ш. в Атлантике. Работа выполняется в рамках совместного проекта RAPID Великобритании и США по программе Изменения Климата – Меридиональная Циркуляция и Массив (для определения) Потоков Тепла (MOCHA). Эти наблюдения за меридиональной циркуляцией проводятся непрерывно с марта 2004 г. (http://www.noc.soton.ac.uk/rapid/rapid.php). В целом, стратегия слежения за MOC основана на использовании глубоководных заякоренных буев по обеим сторонам бассейна и мониторинге геострофического сдвига по всему бассейну в сочетании с наблюдениями с помощью групп буев, расположенных к северу от западной материковой границы (Багамские острова) и вдоль восточной (Африканской) границы, а также на прямых замерах течения через Флоридский пролив. Буи помещены также на склонах Среднеатлантического хребта для фиксирования потоков в двух частях Атлантического бассейна. Для непрерывной оценки MOC по всему бассейну и ее вертикальной структуры экмановский перенос, рассчитанный по данным спутниковых наблюдений за ветром, накладывается на результаты расчетов геострофических течений или результаты их непосредственных наблюдений, и производится конт-

роль сохранения массы. Для отслеживания абсолютных скоростей течений, включая баротропную циркуляцию, эта система дополнена точными датчиками придонного давления. Работы по МОС в Атлантике координируются специальной группой экспертов CLIVAR (http://www.clivar.org/organization/atlantic/atlantic.php).

Оценка наблюдений за водяным паром и аэрозолями в верхней тропосфере и стратосфере

Водяной пар и аэрозоли оказывают большое влияние на радиационные и химические свойства верхней тропосферы и стратосферы, однако их измерения очень сложны и подвержены значительным погрешностям. Чтобы наблюдения стали более полезными и давали более точное количественное представление о долгосрочных изменениях в верхней атмосфере, SPARC провел экспертные оценки различных наборов данных наблюдений по водяному пару и аэрозолям. Эта работа потребовала значительных усилий со стороны десятков ученых, которые выступили в ней и авторами, и рецензентами.

Оценка Водяного Пара в Верхней Тропосфере и Стратосфере (UTS) была опубликована в виде Отчета SPARC номер 2 в 2000 г. (WCRP No. 113, WMO/TD-No. 1043). В Отчете описываются и сравниваются соответствующие базы данных, использующие показания гигрометров и результаты дистанционных измерений лабораторий со всего мира. Из них был составлен соответствующий набор данных, включающий исторические данные, ведущие начало с 1940-х годов. Представленные в Отчете данные находятся в Центре Данных SPARC (http://www.sparc.sunysb.edu/). Этот Отчет широко использовался и цитировался, а также послужил источником информации для принятия решений по программе наблюдений и при составлении оценочных докладов МГЭИК и WMO/UNEP. В соответствии с изложенными в этом Отчете рекомендациями были продолжены климатологические измерения, проведены новые кампании по исследованию водяного пара в верхней тропосфере и стратосфере, запущены новые программы наблюдений со спутников, а также проведено множество модельных и лабораторных исследований с целью объяснения этих наблюдений и выявления неизвестных прежде процессов.

В результате этих наблюдений появились новые вопросы, касающиеся водяного пара в верхней тропосфере и стратосфере. Ответы на эти вопросы требуют подтверждения точности данных об абсолютной влажности воздуха, а не просто относительных оценок расхождений между различными приборами. Потребность в абсолютной точности данных привела к необходимости перекрестной калибровки как давно используемых, так и недавно разработанных гигрометров, и в полевых условиях, и в лаборатории. SPARC провел все эти исследования и сейчас занимается обновлением отчета по водяному пару 2000 г. Помимо этого SPARC занимался вопросами, касающимися уже имеющихся наблюдений по стратосферным аэрозолям, включая определение «фонового» уровня аэрозоля. В 2006 г. был представлен отчет по этому проекту в виде отчета SPARC номер 4 (WCRP-124, WMO/TD-No. 1295), который был использован в 2006 г. для Оценочного Доклада WMO/Программы ООН по Охране Окружающей Среды по Озону.

Реанализ и климатическая информационная продукция

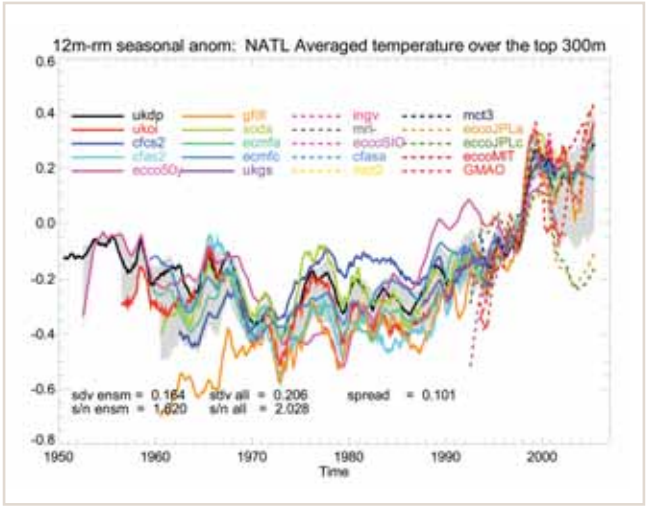
Особенностью процесса подготовки климатических данных является необходимость неоднократной повторной обработки данных прошлого и реанализа всех накопленных

данных, в результате чего получается глобальная климатическая информационная продукция, произведенная с использованием одной и той же методики. Реанализ наблюдений – с использованием более полных данных, с улучшенным контролем качества, с современной моделью усвоения и системой объективного анализа – существенно улучшает однородность рядов данных и делает их пригодными для изучения климатических колебаний. Глобальные атмосферные реанализы обеспечили прогресс во многих областях, включая точную оценку современного климата («информацию о фактическом климате») и диагностические исследования различных характеристик и явлений, таких как погодные системы, муссоны, Эль-Ниньо и другие климатические колебания. Они помогли улучшить сезонные прогнозы и оценить предсказуемость климата. Глобальный атмосферный реанализ также служит фундаментом для проектов по региональному реанализу и даунскейлингу в тех случаях, когда есть возможность подготовить подробные климатологические наборы и описания, кладущиеся в основу изучения местного климата и его воздействий.

В настоящее время выполняются попытки создания океанского реанализа/синтеза посредством усвоения океанографических данных с помощью моделей океана. Эти работы предваряют предстоящее совместное усвоение данных по атмосфере, океану и суше с помощью глобальных совместных моделей. Чтобы достичь этой цели, необходимо существенно развить возможности контактных и космических наблюдений, усовершенствовать современные совместные модели и методы расчетов, и иметь более производительные вычислительные ресурсы.

Эксперимент ВПИК по Глобальной Океанической Циркуляции (WOCE) объединил все данные по океанам с целью создания согласованного описания глобальной океанской циркуляции. Оценка состояния океана служит важным инструментом описания и изучения его временной изменчивости и его взаимодействия с остальными частями климатической системы. Эти результаты особенно полезны для описания явлений, которые невозможно наблюдать напрямую – таких как крупномасштабная циркуляция океана, перенос различных свойств, например тепла и массы, а также взаимодействие океана и атмосферы. К тому же, оценки состояния океана могут, в конце концов, послужить наилучшими начальными условиями для климатических прогнозов.

Сегодня существует несколько информационных климатических продуктов, которые являются результатами усвоения глобальных океанографических данных (http://



Аномалия температур поверхности Северной Атлантики (0–300 м) по океанскому реанализу. Все модели показывают потепление в последнее десятилетие.

www.clivar.org/organization/gsop/synthesis/synthesis.php). Необходимым условием для улучшения оценок состояния океана, который постоянно изменяется во времени, а также переноса веществ и энергии в нем, является понимание погрешностей каждой оценки. Оно может быть получено с помощью сравнения между собой всех имеющихся продуктов. Понимание сильных и слабых сторон всех оценок состояния океана приведет к созданию взвешенного ансамбля средних значений – более точного, чем каждый продукт в отдельности. Эта работа по оценке состояния океана была начата по инициативе CLIVAR и частично спонсировалась GODAE (Эксперимент по Усвоению Глобальных Океанических Данных). Многие проекты по океанскому реанализу стали участниками этого процесса и провели работу по сравнению своих результатов реанализа с наблюдениями. С 2006 г. CLIVAR и GODAE провели три рабочих совещания по оценке океанских реанализов (http://www.clivar.org/organization/gsop/gsop.php).

В стратосфере, где проводится сравнительно мало наблюдений, качество атмосферного реанализа является проблематичным. Чтобы оценить его, SPARC провел количественное сравнение имеющихся результатов реанализа и проанализировал, как они воспроизводят сезонный цикл и долгосрочные изменения по сравнению с другими видами данных и спутниковыми измерениями. В Отчете SPARC No. 3 (WCRP No. 116, WMO/TD-No. 1142), опубликованном в 2002 г., представлена обобщающая оценка сильных и слабых сторон каждого набора данных.

Объединение региональных наборов данных в глобальную климатическую продукцию

В 2008 г. Группа Экспертов по Гидрометеорологии GEWEX и проект, называвшийся «Координированный Расширенный Период Наблюдений» были объединены в проект «Координированный Проект по Наблюдениям за Круговоротом Энергии и Воды» (CEOP, http://www.ceop.net), в результате чего образовалась самая современная информационная система в области наук об окружающей среде. Эта система управляется CEOP и включает в себя результаты региональных экспериментов в разных климатических регионах земного шара. Объединение двух лидирующих проектов GEWEX способствовало более быстрому принятию стандартов наблюдений и установлению общих региональных научных приоритетов в изучаемых районах. Были определены районы, где необходимо принять срочные меры по внедрению в практику принципов открытого обмена данными. В рамках CEOP производится обработка глобальных измерений и одновременно выполняются наблюдения экстремальных погодных и климатических явлений, которые оказывают иногда сильное местное воздействие. Этот проект в перспективе может помочь установлению связи между глобальной информацией по изменениям климата и пониманием причин возникновения стихийных бедствий, а также прогнозом и слежением за ними в региональном и локальном масштабе.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГНОЗОВ

Изменчивость климата, предсказуемость и прогноз

Адаптация к изменениям климата при сохранении цели достижения устойчивого развития требует точного и достоверного предсказания изменений в региональных погодных и климатических условиях и, особенно, стихийных явлений. Вместе с тем, у современных климатических моделей до сих пор имеются серьезные недо-

статки в воспроизведении региональных климатических колебаний, а следовательно – и в выработке требуемой информации о региональных изменениях с уровнем точности, необходимой обществу. В этом контексте ВПИК провела в мае 2008 г. в Рединге, Великобритания, Всемирный Саммит по Моделированию для Предсказания Климата (http://wcrp.ipsl.jussieu.fr/Workshops/Modelling Summit/index.html) с целью разработки стратегии ускоренного совершенствования и внедрения в практику климатического прогноза, необходимого в свете глобальных климатических изменений, и особенно тех, которые происходят на региональном уровне. Основной упор на этой встрече был сделан на воспроизведение и предсказание физической составляющей климатической системы. Поскольку успехи климатического моделирования и прогноза сильно зависят от прогресса в области прогнозирования погоды, и поскольку учет биогеохимических процессов и циклов в долгосрочных предсказаниях климатических изменений требует усовершенствованных представлений о физической системе, саммит также спонсировали WWRP (Всемирная Программа Изучения Погоды) и IGBP (Международная Программа по Геосфере и Биосфере). Эксперты – участники саммита заключили, что климатическое моделирование должно и готово двигаться в направлении фундаментально новых (с точки зрения высокого пространственного разрешения) подходов и опираться на создание непрерывных (seamless) прогностических технологий для континуума «погода-климат».

Участники саммита определили четыре главные цели работы: 1) разработка моделей, реалистично отображающих все аспекты климатической системы; 2) сравнение этих моделей с наблюдениями для оценки их адекватности, точности и имеющихся недостатков; 3) повышение вычислительных мощностей на 3-4 порядка по сравнению с передним краем сегодняшних возможностей, и 4) открытие всемирного климатического проекта или программы для достижения этих целей, для которого все страны предоставили бы специалистов и финансирование. Участники признали, что выполнение этих четырех задач превышает возможности и ресурсы любой отдельно взятой страны и призвали, поэтому, к всемирному сотрудничеству и координации усилий в области моделирования в целях климатического прогноза. На саммите была горячо одобрена инициатива по созданию Проекта по Климатическому Прогнозу, руководимого ВПИК в сотрудничестве с WWRP и IGBP, и включающего национальные прогностические центры погоды и климата, а также широкое сообщество ученых. Целью проекта станет подготовка глобальной климатической информации для научного обоснования проходящих в мире дискуссий о путях смягчения климатических воздействий, а также поддержка региональных мер по адаптации к изменениям климата и принятию других решений, отвечающих вызовам XXI века.

Чтобы помочь государственным центрам ускорить совершенствование климатического прогноза во всех временных масштабах, в особенности в масштабе десятилетнего до нескольких десятилетий, участники Проекта по Климатическому Прогнозу предложили создать всемирную исследовательскую платформу для климатического прогноза. Ее основным элементом должны быть один или два вычислительных центра, оборудованных по последнему слову техники. Такая платформа обеспечит предсказание климата по моделям самого высокого разрешения и уровня сложности с учетом наших современных технологий и достигнутого уровня научных знаний.

Сезонные прогнозы

Около трети населения земного шара живет в регионах, подверженных серьезным климатическим аномалиям/бедствиям. Многие из этих регионов включают развивающиеся или слаборазвитые страны, чья экономика зависит преимущественно от сельского хозяйства и рыболовства. В связи с успехами 1980-х и 1990-х годов в развитии климатического прогнозирования имелись большие надежды на то, что использование прогностической информаций в сезонном масштабе времени будет приносить заметную пользу обществу. Однако, пока эти надежды оправдались еще не полностью, частично из-за отсутствия должного взаимодействия между учеными-физиками, работающими в сфере сезонного прогнозирования, прикладными учеными, а также руководителями, принимающими решения, и службами, предоставляющими оперативный сезонный прогноз.

Служение обществу путем обеспечения анализа и прогноза колебаний и изменений климатической системы Земли является одной из главнейших целей ВПИК. Работа ВПИК в сезонном масштабе проводилась с помощью исследования, которое ВПИК начал в 2005 г., сформировав Целевую Рабочую Группу по Сезонному Прогнозированию (TFSP) и начав проведение двухлетней оценки потенциальных возможностей и реальной успешности современного сезонного прогнозирования. Эксперты рассмотрели развитие и практическое применение численного экспериментирования для повышения качества сезонного прогнозирования и более эффективного использования информационной продукции сезонного масштаба времени.

Во время проведения аналитической оценки возможностей сезонного прогноза TFSP, вместе с основными проектами ВПИК, Всемирной Программой Климатических Служб и их Практического Приложения и проектом «Службы Климатической Информации и Прогноза», организовала в июне 2007 г. (Барселона, Испания) первое совещание ВПИК по сезонному прогнозированию. Важнейшим результатом этого совещания стало достижение согласия по требованиям, которые должны предъявляться к производству, использованию и оценке сезонных прогнозов.

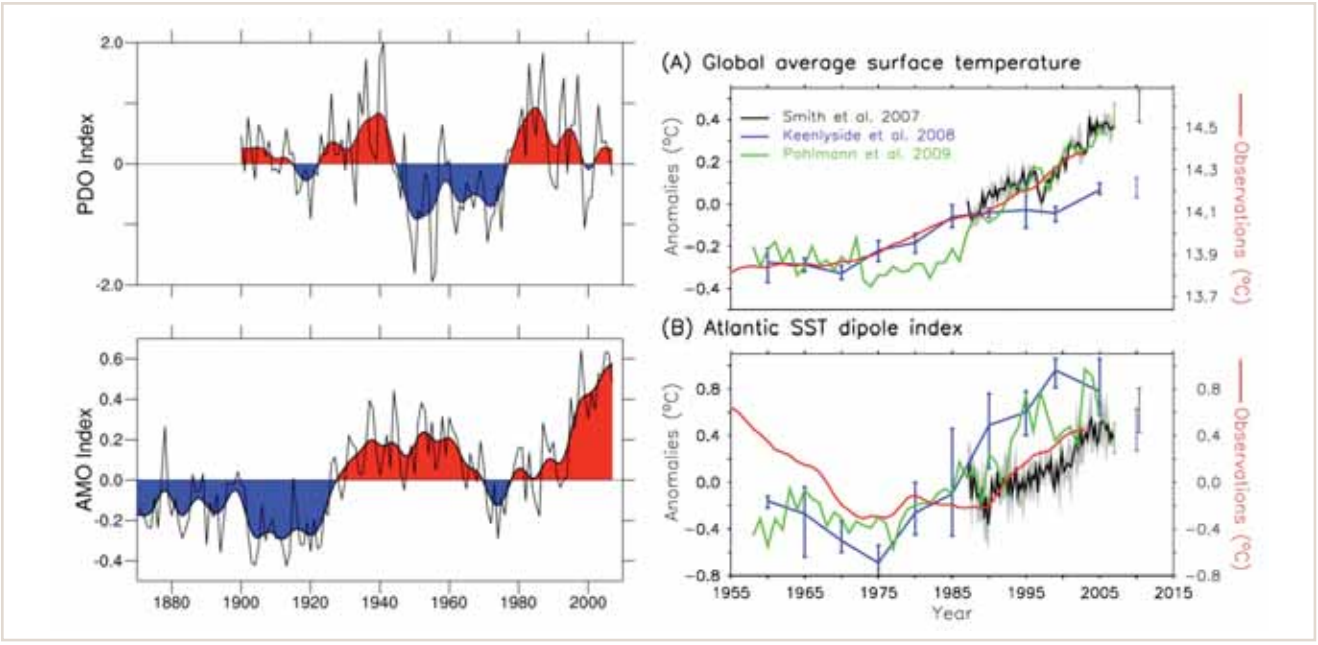
Оперативное сезонное прогнозирование еще не достигло максимальной возможной точности прогноза. Ошибки моделей по-прежнему ограничивают успешность прогноза, и поскольку еще не все взаимодействия в климатической системе (взаимодействия «суша-атмосфера» и «стратосфера-тропосфера» – это только два примера) полностью разрешены в настоящее время, то существует еще непочатый край источников предсказуемости. TFSP запустил Проект по Совместному Историческому Прогнозу (CHFP, http://www.clivar.org/organization/wgsip/chfp/chfp.php) – межведомственный эксперимент с множеством моделей для прогнозирования полной физической климатической системы в масштабе времени от внутрисезонного до десятилетнего. Его целью является вовлечение всей происходящей деятельности в сфокусированный прогнозный эксперимент, включающий в себя все элементы климатической системы, ее координацию и синтез результатов.

Координированные исследования GEWEX внесли большой вклад в концептуальное обоснование и целесообразность комплексных спутниковых и контактных наблюдений влажности почвы. Эти исследования показали, что учет влажности почвы очень важен при прогнозе осадков в масштабах до сезонного в ряде континентальных

районов земного шара. Эти исследования также легли в основу рекомендаций Национальной Академии Наук США о том, что Соединенные Штаты должны уже в этом десятилетии восстановить измерения почвенной влажности из космоса в качестве одного из главнейших приоритетов в наблюдениях за Землей.

Десятилетняя изменчивость, предсказуемость и прогноз

Глобальное потепление будет продолжаться, как минимум, в течение нескольких десятилетий при любом возможном варианте выбросов парниковых газов и будет сопровождаться региональной изменчивостью, которая может оказать серьезное влияние на все сектора глобальной экономики. Примеры этого включают засуху 1930-х годов в США, известную, как «Пыльный котел», засуху в районах Сахеля к югу от Сахары в 1970-х и 1980-х, продолжающуюся засуху на юго-западе США, в Австралии и на Ближнем Востоке, а также изменения в силе ураганов в Атлантике, происходящие на масштабах десятилетий. Эти воздействия связаны с разницей температур между сушей и океаном, а также с различиями между океанами. Одной из основных проблем климатической науки является необходимость понять и попытаться предсказать подобные климатические колебания и изменения на региональном уровне в масштабе десятилетий. В региональном масштабе,



Наблюдения 10-летней климатической изменчивости в Тихоокеанском и Атлантическом секторах (слева) и первые попытки десятилетнего прогнозирования (справа)

а именно в этом масштабе принимается наибольшее количество планов и экономических решений, сигналы антропогенной природы будут сильно перекрываться естественными климатическими колебаниями, особенно теми, которые в значительной степени индуцированы океанической циркуляцией – достаточно инерционной в десятилетнем масштабе времени.

В ближайшие несколько лет имеется возможность серьезного прогресса в предсказании климата в десятилетнем масштабе времени. Как часть Проекта ВПИК по Сравнению Совместных Моделей (пятая фаза – CMIP5, Taylor and others, 2009) центры моделирования по всему земному шару планируют создание координированных ансамблей десятилетних ретроспективных анализов и экспериментальных прогнозов, покрывающих период с 1960 по 2035 гг. Результаты этих прогнозных экспериментов будут доступны международному сообществу ученых, и анализ этих результатов будет способствовать совершенствованию нашего понимания десятилетней изменчивости и предсказуемости. Индуцированные источники десятилетней изменчивости, такие как восстановление озона, также принимаются во внимание в CMIP5.

Эти только что начатые эксперименты по климатическому прогнозированию дополняют ряд других ведущихся исследований, которые посвящены другим аспектам изменений климатической системы, включая цикл углерода, биогеохимические процессы и обратные связи, предопределяющие конечную величину климатических изменений во второй половине XXI века. Венцом всего комплекса разработок станет объединение всех подходов, включая использование моделей высокого разрешения, способных воспроизводить климатические явления регионального уровня (например, изменение качества воздуха). Оно должно дать ключ к совершенствованию прогнозов климатических изменений в масштабе от десятилетий до столетий.

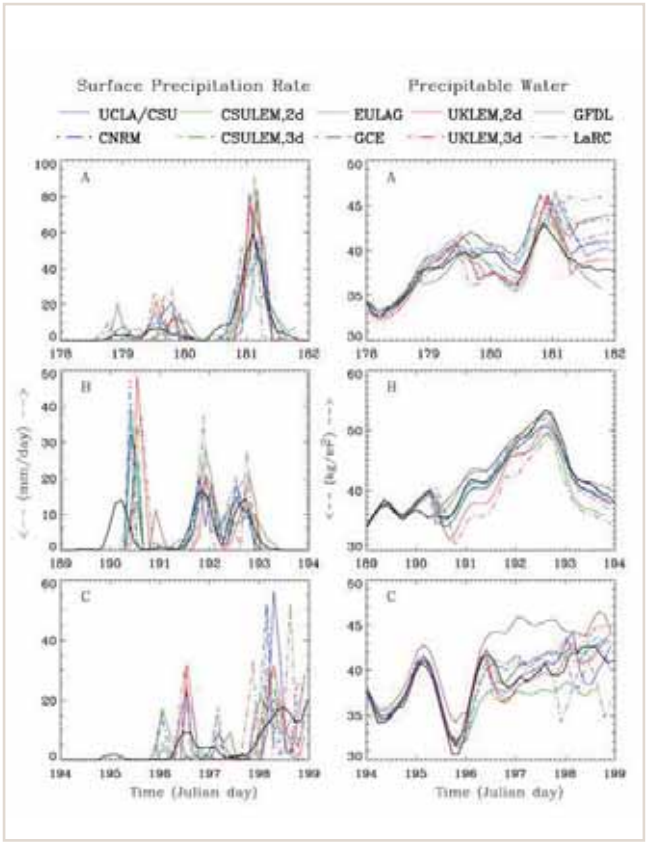
Совершенствование отображения в моделях гидрологического и энергетического циклов

Многие процессы, важные в погодном и климатическом отношении, происходят на меньших пространственных масштабах, чем разрешение численной сетки моделей, используемой в современных климатических экспериментах, а также численной сетки тех моделей, которые, скорее всего, будут использоваться в ближайшие 10 лет. Примерами таких процессов являются турбулентность, конвекция в атмосфере и океане, облачность и осадки, а также обмен энергией, массой и биохимическими элементами на поверхности суши и моря. Общепризнанно, что серьезные пробелы, а, стало быть, и погрешности в наших современных климатических прогнозах напрямую связаны с нашей неспособностью адекватно отобразить эти процессы. В деятельности ВПИК по развитию параметризаций важную роль сыграли Группа Экспертов GEWEX по моделированию и прогнозу (http://www.gewex.org/projects-GMPP.htm) и Проект WGCM по сравнению моделей обратной связи облачности (CFMIP http://www.cfmip.net), которым удалось повысить точность моделирования круговоротов энергии и воды в климатических моделях.

Облачность играет очень важную роль в климатической системе Земли, так как регулирует радиационный баланс, осадкообразование и влияет на крупномасштабную атмосферную циркуляцию, как в планетарном, так и в региональном масштабе. В дополнение, облачность

сильно связана с человеческой деятельностью, которая стимулирует ее образование путем выброса аэрозолей. GEWEX играет лидирующую роль, как в наблюдении, так и в моделировании глобальных характеристик облачности. Эксперты GEWEX долго и последовательно работали над внедрением новых технологий в изучении облаков, подобных тем, что используются в Программе Измерений Атмосферной Радиации Департамента Энергии США, Проекте CloudNet Евросоюза и спутниках NASA CloudSat и CALIPSO. Пакет Воспроизведения Наблюдений эксперимента CFMIP (COSP) разработан для общего употребления и принадлежит всему сообществу ученых. Он используется для сравнения облаков, имитируемых климатическими моделями и моделями численного прогноза погоды (NWP), с различными спутниковыми наблюдениями. Последние включают наблюдения облачности, производимые приборами дистанционного зондирования нового поколения – радарами и лидарами (CloudSat и CALIPSO). Создание пакета COSP успешно объединило сообщества ученых, занимающихся моделированием и наблюдениями. Этот пакет был передан научным центрам NWP и центрам климатического моделирования, и он же будет использоваться в некоторых экспериментах CMIP5. Модельные оценки, основывающиеся на использовании COSP, должны помочь понять причину систематических ошибок моделей и погрешности блоков солнечной радиации и осадков в климатических моделях и моделях NWP.

Параллельно этому Прект GEWEX по Изучению Систем Облачности (GCSS; http://www.gewex.org/gcss.html) разрабатывает улучшенные параметризации облачных систем для климатических моделей с помощью углубленного анализа физических процессов, которые являются определяющими в разных типах облаков.



Сравнение интенсивности осадков (колонка слева) и количества водяного пара по 10 моделям, разрешающим облачность для летних условий в точке наблюдений за атмосферной радиацией в южной части Великих Равнин (США). Данные показаны черным. Модели демонстрируют хорошую сходимость друг с другом и с данными. Во всех трех случаях в моделях запаздывает начало осадков. Характеристики облаков и потоки массы, произведенные моделями, вполне схожи. Подобные результаты используются для развития и проверки конвективных параметризаций для моделей прогнозирования погоды и климата.

Стратегией рабочей группы GCSS является проведение исследований, ориентированных на процессы и основанных на полевых экспериментах, и использование моделей особо высокого разрешения как «виртуальной лаборатории». Наблюдения ряда полевых программ также специально собираются и анализируются. Проводится множество исследований с использованием моделей высокого разрешения (вплоть до уровня, когда достигается возможность явно моделировать процессы образования облаков) и одномерных вертикальных моделей атмосферы и глобальных моделей погоды и климата. Результаты моделирования сравниваются между собой и с имеющимися наблюдениями для выявления достоинств и недостатков моделей. Этот процесс уже привел к гораздо более полному пониманию физических процессов в облаках различного типа, к созданию усовершенствованных и достоверных, с точки зрения физической основы, моделей процессов и улучшенных параметризаций в прогностических климатических и погодных моделях.

Иллюстрация основных платформ и ключевых научных тем Регионального Эксперимента VOCALS

В последние несколько лет WGCM/CFMIP и GEWEX/GCSS работали в тесном сотрудничестве для улучшения оценки и понимания физических процессов, контролирующих отклик облачности на изменения климата. Работа включала в себя систематическое сравнение экспериментов по моделированию крупных вихрей или моделей, явно разрешающих облачность, с результатами использования одномерных вертикальных версий моделей общей циркуляции, как в реальных условиях с данными, отражающими сегодняшние условия, так и в идеализированных экспериментах по изменениям климата. Особое внимание уделялось облачности пограничного слоя, так как ее воспроизведение является одним из основных факторов разброса оценок климатической чувствительности между моделями текущего поколения.

Оценка климатических моделей и повышение их качества

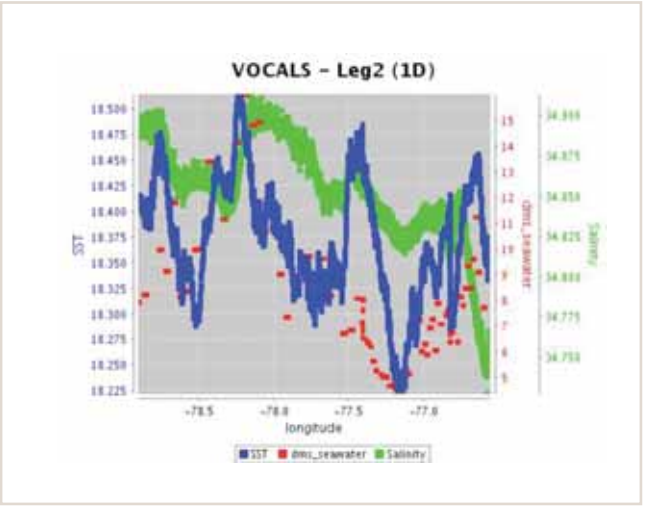
Международный проект CLIVAR/VAMOS «Исследование Океана-Облачности-Атмосферы-Суши» (VOCALS, http://www.eol.ucar.edu/projects/vocals/) ставит главной целью развитие научной деятельности, направленной на устранение систематических ошибок в Глобальных Климатических Моделях, и улучшение качества модельных расчетов системы «океан-атмосфера-суша» в юго-восточной части

Тихого океана. В дополнение одной из целей VOCALS является углубленное понимание и представление в региональных и глобальных моделях юго-восточной части Тихого океана прямого и непрямого эффекта аэрозолей.

VOCALS состоит из двух взаимосвязанных компонентов: Регионального Эксперимента (VOCALS-REx) и Проекта по Моделированию (VOCALS-Mod). Расширенная программа наблюдений включает в себя подготовку ряда дополнительных наборов данных, которые используются для взаимного анализа, как наблюдений, так и результатов моделирования. Благодаря координирующим усилиям VOCALS уже удалось ускорить использование полевых данных для улучшения расчетов и прогнозов изменчивости тропического климата.

Во время интенсивного наблюдательного периода в октябре-ноябре 2008 г. была получен комплекс данных из нескольких научных дисциплин. Данные собирались в течение 6 недель с нескольких платформ, включая 5 самолетов, 2 научно-исследовательских судна и 2 полигона на поверхности суши. Этот беспрецедентный набор информации будет использован для исследования взаимосвязей между аэрозолями, облаками и моросью в морском пограничном слое (MBL) и физико-химическими и пространственно-временными свойствами аэрозолей, а также химического и физического взаимодействия верхнего слоя океана, суши и атмосферы.

Группа по апробации химико-климатических моделей SPARC (CCMVal, http://www.pa.op.dir.de/CCMVal/) выдвинула концепцию оценки моделей химии и климата (CCM), ориентированную на правильное воспроизведение ими наиболее важных процессов. Группой была создана таблица наиболее важных процессов, диагностических наборов данных и критериев для оценки моделей, с упором на их способность предсказывать будущее содержание и распределение озона в стратосфере. Для более активной и эффективной оценки CCM моделей, SPARC предлагает всем заинтересованным ученым доступ к комплексу диагностических программ. Целью предоставления этих программ является упрощение процедур контроля качества модельной продукции, возможность расчета более сложной и полной диагностики моделей, статистическая



Предварительные результаты VOCAL-Rex: корреляция содержания диметилсульфида в морской воде (DMS) и колебаний температур и солености в верхней толще океана. Содержание диметилсульфида повышено вдоль края циклонических вихрей, видимо, благодаря вовлечению питательных веществ в верхний слой перемешивания океана. Эти зоны также демонстрируют повышенное содержание атмосферного диметилсульфида, и играют, таким образом, большую роль в образовании аэрозолей на удалении от берега.

оценка различий в моделях/данных и наглядное графическое представление результатов. Этот набор программ будет способствовать дальнейшему совершенствованию научной основы сравнения моделей с использованием количественных метрик качества и приведет к более широкому использованию этих критериев, что позволит уменьшить неопределенности прогноза, полученного с помощью совокупности моделей.

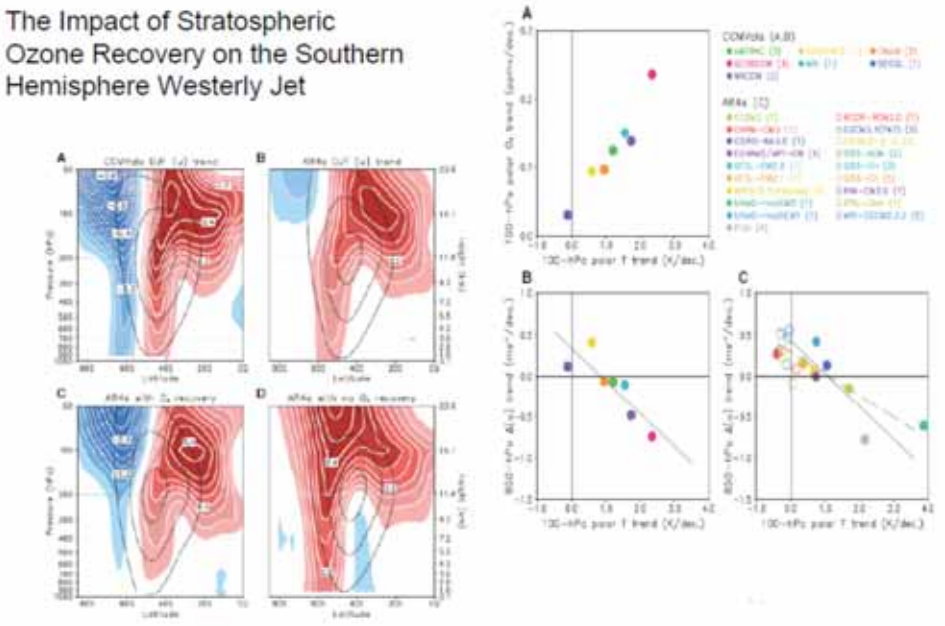
Группа экспертов SPARC по CCMVal также провела сравнение результатов работы химико-климатических моделей, способных адекватно разрешать стратосферу, и моделей, составивших основу расчетов для ОД4 МГЭИК. Это сравнение показало, что модели, использованные в ОД4, не улавливают ожидаемого влияния восстановления озона на приповерхностный климат высоких широт в южном полушарии, включая поверхностный ветер. Это указывает на необходимость точного отображения взаимодействия процессов, влияющих на климат и стратосферный озон при будущих климатических прогнозах.

Наборы данных, подготовленные Группой экспертов GEWEX по Радиации, активно используются для сравнения и оценки моделей, использованных при подготовке ОД4 МГЭИК. Эти модели, как правило, оцениваются по таким показателям, как радиационный баланс на верхней границе атмосферы, облачное покрытие, количество аэрозолей и т.д. Эти оценки чрезвычайно важны для понимания, насколько хорошо климатические модели воспроизводят текущий климат. Они так же важны для выявления недостатков моделей и, стало быть, направлений их совершенствования. Диагностические исследования показали, что приповерхностные потоки тепла и влаги над сушей, а, следовательно, и влажность почвы, сильно связаны с конвекцией над сушей и преобразованием влаги в атмосфере. Проект GEWEX «Система Суша – Атмосфера» (GLASS) провел первые исследования по взаимодействию поверхности суши и атмосферы с упором на совершенствование отображения поверхностных потоков в климатических моделях. В их основу было положен сравнительный анализ таких моделей, в частности, в рамках Глобального Исследования по Взаимодействию поверхности Суши и Атмосферы (GLACE).

Эксперимент по Тропическому Климату Атлантики CLIVAR (TACE, http://www.clivar.org/organization/atlantic/TACE/tace.php) включает расширенные наблюдения и модельные исследования в тропической Атлантике, запланированные примерно на 6 лет (2006–2011). Ожидается, что результаты TACE станут основополагающими при выборе окончательного проекта долгосрочной системы наблюдений в тропической Атлантике. Основной целью TACE является улучшение моделирования ключевых динамических процессов, формирующих климатическую систему восточной части тропической Атлантики, и понимание ее предсказуемости. Океан оказывает основное влияние на изменчивость в тропической Атлантике. Температуры поверхности океана по существу определяют изменения внутритропической зоны конвергенции. Самыми заметными климатическими воздействиями являются изменчивость осадков над северо-восточной Бразилией и прибрежными областями Гвинейского залива, а также колебания осадков и запыленность к югу от Сахары (Сахель). Множество исследований указывают на высокую степень потенциальной предсказуемости климатических изменений в тропиках Атлантики. Тем не менее, прогресс в предсказании тропического атлантического климата пока недостаточен, что связано с неполным пониманием процессов в океане и атмосфере, определяющих климатическую изменчивость, недостатком данных для

постановки начальных условий для прогностических моделей и устранения систематических ошибок в моделях, используемых для прогнозов. В сотрудничестве с программой AMMA, TACE проводит сбор данных в тропической Атлантике. Эти данные будут использоваться для оценки качества и совершенствования моделей.

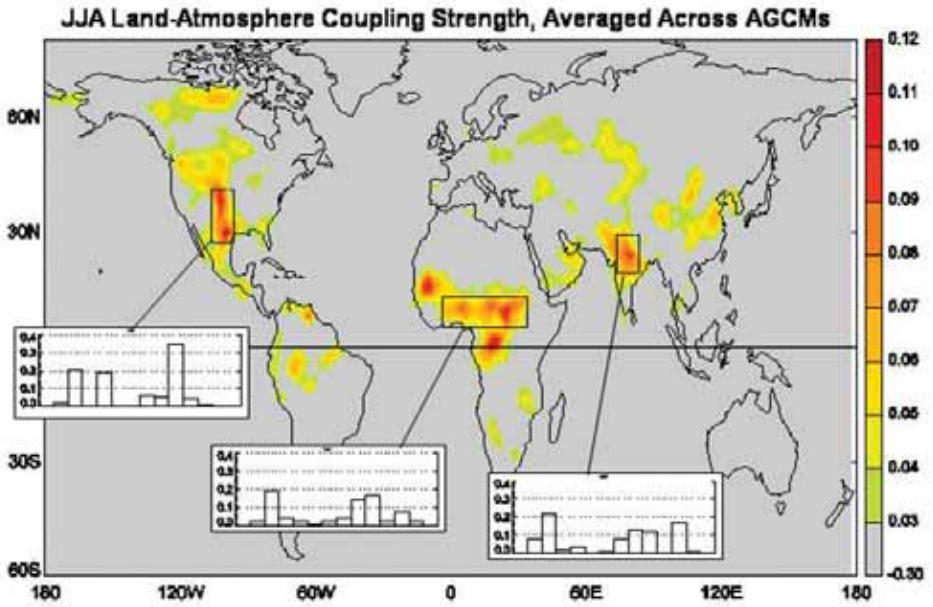
Рабочая группа CLIVAR по колебаниям Маддена-Джулиана (MJO) разработала серию диагностик MJO нарастающей сложности и диагностической способности. Эти диагностики были использованы для выявления сигналов MJO, построения композитных жизненных циклов этого явления, описания межгодовой изменчивости MJO



S.-W. SON

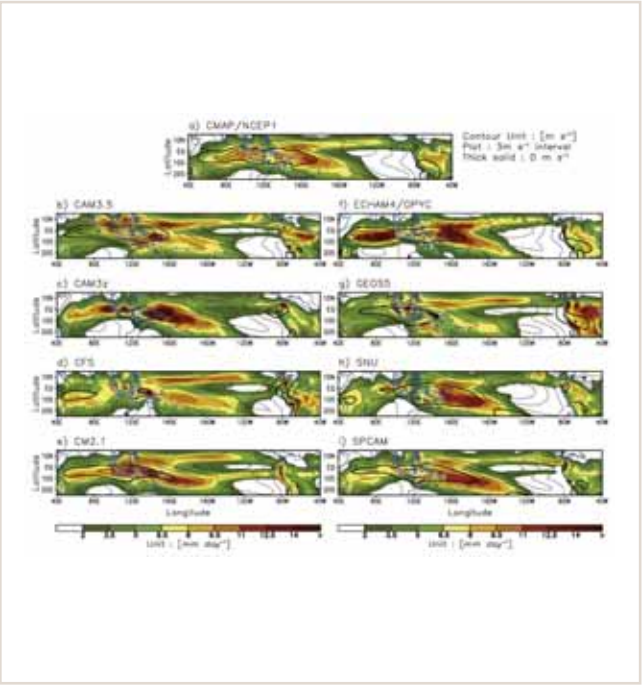
Слева: тренды среднезональных значений зонального ветра с декабря по февраль (DJF) между 2001 и 2050 гг.: модели CCMVal (A), модели ОД4 (B), модели ОД4 с заданным изначально восстановлением озона (C), модели ОД4 без восстановления озона (D). Сплошным черным показаны изоплеты среднезональных значений зональных ветров для DJF с 2001 по 2010 г.

Справа: зависимость между трендом озона и температуры над Антарктическим ледяным щитом на уровне 100 гПа, а также трендом внетропического зонального ветра на 850 гПа: тренды температуры и озона по моделям CCMVal (A), тренды зонального ветра и температур по моделям CCMVal (B), и тренды зонального ветра и температур по моделям ОД4 (C).



Осредненные результаты по 12 климатическим моделям, рассчитавшим значения пространственно-распределенного параметра, показывающего силу взаимодействия суши и атмосферы для лета сев. полушария. Они почти совпадают с долей дисперсии осадков, связанной лишь с колебаниями почвенной влажности. Таким образом, более высокие значения параметра указывают на районы, где влажность почв сильно влияет на осадки. Это влияние сильнее всего в центре Великих Равнин в Сев. Америке, Сахеле, Экваториальной Африке и Индии. На маленьких врезках показаны значения параметра, осредненные по районам на карте, обведенным прямоугольниками. Большие различия между моделями в районах сильного взаимодействия показывают степень погрешности моделей и необходимость более полного понимания процессов взаимодействия между сушей и атмосферой в этих районах.

и оценки способности климатических моделей его воспроизводить. Дополнительный анализ наиболее сложных диагностик показывает, что только немногие из них способны воспроизводить ключевые показатели MJO, такие как постепенное увлажнение нижней тропосферы, которое всегда предшествует наблюдаемой конвекции MJO, а также географические различия в вертикальной структуре поля влажности. В дополнение к диагностикам MJO, используя данные прогноза в реальном времени, поставляемые некоторыми оперативными центрами численного прогноза погоды, рабочая группа разработала систему для оценки динамических прогнозов MJO,



Измеренные средние (сверху) и воспроизведенные осадки с ноября по апрель (8 климатических/прогнозных моделей) (показаны цветом) и контуры осредненного зонального ветра на 850 гПа. Единицы измерения мм/день для осадков и м/с для зонального ветра. Интервал между контурами ветра 3 м/с, а нулевые значения показаны сплошной жирной линией.

которые могут оказаться полезными для внутрисезонного прогнозирования. Это привело к количественным сравнениям успешности прогноза MJO по всем оперативным центрам. Такая система может также использоваться для измерения достижений в успешности прогнозов и способствовать развитию многомодельного прогноза MJO.

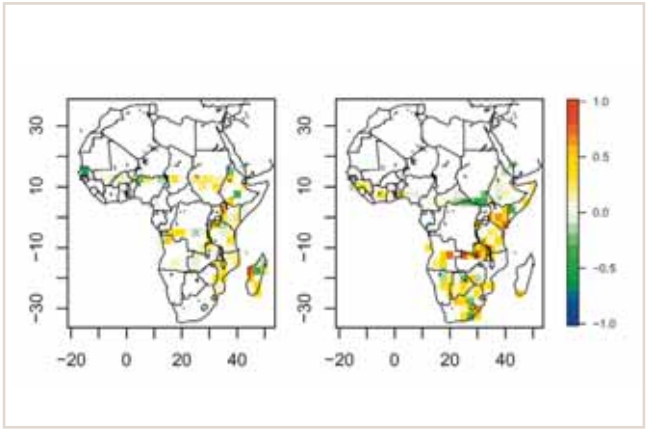
ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ НАУЧНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ

Детальная региональная климатическая информация, включающая текущие и будущие оценки климатических колебаний и изменений, очень важна для разработки эффективных стратегий по адаптации к изменениям климата. Эта информация необходима при построении планов управления климатическими рисками, в особенности в развивающихся и малоразвитых странах. ВПИК занимается разработкой комплексных информационных систем по климату на глобальном и региональном уровне, которые доводят наблюдения, анализы, прогнозы и оценки до сведения людей и организаций, принимающих решения. Такая информационная система обеспечивает необходимую основу для принятия решений и выработки политики во всех секторах экономики, включая сельское хозяйство, обеспечение продовольствием, защиту окружающей среды, здравоохранение, энергетику и транспорт.

Вспышки малярии: климатические условия и области распространения малярии

Во многих областях земного шара климат является определяющим фактором миграции и расширения ареалов комаров – носителей малярии и паразитов, вызывающих малярию и другие инфекционные заболевания. Например, годы, в которые были отмечены вспышки малярии, отличались повышенным количеством осадков и приводили к наполнению прудов и озер, в которых обычно размножаются комары. И наоборот, годы с пониженной заболеваемостью малярией были сравнительно сухими. Эта взаимосвязь использовалась в прошлом для прогнозов эпидемий малярии. Подобные предсказания, однако,

основывались только на наблюдениях силы сезона дождей в данный момент. Таким образом, в случае высокого риска эпидемии малярии оставалась лишь одна-две недели для того, чтобы к ней подготовиться. Проект под названием Развитие Системы Европейского Многомодельного Ансамбля для предсказаний от сезона до нескольких лет (DEMETER) исследовал возможности использования многомодельных ансамблей для прогнозирования вспышек малярии задолго до дождливого сезона. Успешные климатические прогнозы, предсказывающие не только наиболее вероятное развитие климата, но также и возможные погрешности этих прогнозов, дают возможность раннего предупреждения о риске в регионах, подверженных эпидемиям, где ежегодно от малярии умирает 1,3 миллиона человек. Для того чтобы подготовиться к максимальной вспышке малярии, руководству здравоохранения очень важно знать, насколько «влажным» будет сезон дождей, и не только осредненно – в целом по сезону, а и на фазе максимального развития. Увеличение заблаговременности предупреждения до 4 месяцев перед достижением комарами зрелого возраста, дает органам здравоохранения время, столь необходимое для оптимального использования доступных ограниченных ресурсов.



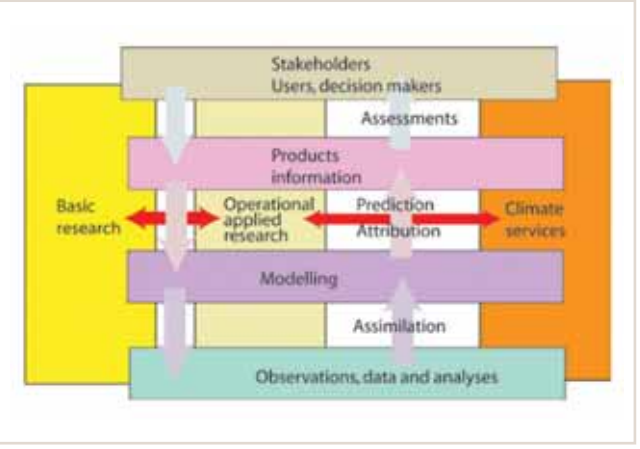
Оценка успешности ансамблевых предсказаний малярии по проекту DEMETER. Показаны 4-6-месячные прогнозы для мая (слева) и ноября (справа) – пиковых месяцев для смоделированного переноса малярии в регионах Западной и Южной Африки, подверженных эпидемиям. Если предсказание эпидемий в Южной Африке является потенциально успешным, то для Западной Африки характерна малая предсказуемость.

Группа экспертов ВПИК/CLIVAR по Изменчивости Африканской Климатической Системы (VACS) заканчивает составление Атласа Климата Африки (http://www.geog.ox.ac.uk/~clivar/ClimateAtlas/), в котором наблюдения и модельные климатические данные представлены в 7 частях. В Разделах 1 и 2 представлена фактическая климатология над Африкой и окружающими тропиками, а также климатические переменные, включая минимальные температуры, максимальные температуры, суточный размах хода температур, водяной пар и облачное покрытие. В Разделе 3 рассматриваются спутниковые наблюдения за минеральными аэрозолями. В Разделе 4 приводятся отдельные составляющие продукции реанализа, а в Разделе 5 представлен архив данных многомодельным данных ВПИК CMIP3 по изменениям климата. Раздел 6 содержит ответы на самые часто задаваемые вопросы по климату Африки. В Разделе 7 рассматриваются стихийные явления, связанные с изменениями климата, и пороги изменений. Этот атлас служит подспорьем африканским учреждениям и организациям и обеспечивает очень важную информационную поддержку при проведении исследований и оценок климатических колебаний и проектов по минимизации ущерба.

Связь изучения климата и мер по адаптации

Бассейн Ла-Платы в юго-восточной части Южной Америки давно представляет интерес для стран MERCOSUR (Южного Общего Рынка) – Аргентины, Боливии, Бразилии, Уругвая и Парагвая – в связи с экономической важностью этого бассейна. Имея площадь 3,1 млн км^2, бассейн Ла-Платы является вторым на земле по крупности естественным резервуаром природных вод с одним из самых мощных в мире производств электроэнергии. Учитывая социально-экономическую значимость этого региона, GEWEX и CLIVAR запустили Региональный Гидроклиматический Проект по Бассейну Ла-Платы. Целью проекта является улучшение возможностей прогноза воздействий, связанных с изменениями климата в регионе. Для этого создаются серии возможных сценариев развития в ряде экономических секторов и вариантов климатических изменений, проводится сопоставление результатов наблюдений с модельными прогнозами. Также идет разработка набора стратегий по адаптации к изменениям (специально для землепользования, сельскохозяйственного производства, сельского развития, малого фермерства, гидроэнергетики, оценке рисков затопления, экосистемам в районах с влажным климатом и множеством водных объектов, речного судоходства и городского строительства по берегам рек). Эти стратегии отражают анализ возможных сценариев изменений климата на период 2010–2040 гг. и подлежат распространению среди региональных и локальных руководящих лиц и организаций. В проекте участвуют 20 учреждений-партнеров из Южной Америки и Европы, включая различные частные и неправительственные организации.

ВПИК приняла активное участие в планировании 3-й Всемирной Климатической Конференции (ВКК-3)(WCC-3; http://www.wmo.int/wcc3/). На ВКК-3 предполагается была основана международная система в помощь развитию климатического обслуживания, которая объединит научные климатические прогнозы и информацию с управлением климатическими рисками и мерами адаптации к климатическим колебаниям и измене-



D.W. WAUGH AND V. EYRING 2008

Схема потоков климатической информации демонстрирует, как фундаментальные исследования питают прикладные и оперативные исследования, которые в свою очередь способствуют развитию климатических служб. Климатические наблюдения перерабатываются системами усвоения данных и анализа и образуют исходные условия для прогностичеких моделей. Модельные расчеты используются для установления причин изменений климата и прогноза. Собранная, оцененная и отобранная для конкретного потребителя информация поставляется заинтересованным лицам, пользователям и руководящим органам. Получатели информационной продукции, в свою очередь, оценивают ее и дают советы по ее улучшению.

ниям по всему земному шару. ВПИК играет главную роль в продвижении климатических исследований, которые составляют основу для принятия решений руководящими органами. Надежная климатическая информационная продукция и обслуживание вырастают только из результатов крупных научных исследований, которые включают в себя производство, сбор, анализ и усвоение наблюдений; установление взаимосвязей между физическими переменными и воздействиями на природную среду; тестирование моделей и оценку их погрешностей; разработку прогнозов и предсказаний, а также даунскейлинг и «регионализацию» результатов прогнозирования.

ВПИК поддерживает своих партнеров в подготовке и проведении климатических исследований, которые помогают достижению программной цели ВПИК – «содействовать анализу и прогнозу колебаний и изменений климатической системы Земли, с тем, чтобы использовать их во все возрастающем спектре непосредственных практических приложений, идущих на пользу и процветание общества». ВКК-3 явилась важной вехой на этом пути.

ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СТРУКТУРА ВПИК

Спонсоры:	WMO, ICSU, IOC-UNESCO
Основные проекты:	CLIVAR, GEWEX, CliC (спонсируется также IASC и SCAR), SPARC
Рабочие группы:	WGCM, WGSF, WOAP, WMP
Совместная деятельность с другими спонсорами:	SOLAS (с IGBP, SCOR и CACGP), WGNE (с WMO CAS), START (с IGBP и IHDP), AOPC (с GCOS), OOPC (с GCOS и GOOS), TOPC (с GCOS и GTOS)
Члены Партнерства по Науке о Системе "Земля" (ESSP):	IGBP, IHDP, DIVERSITAS
Совместные проекты ESSP:	GWSP, GCP, GECAFS, GEC&HH
Текущее сотрудничество:	IPCC, WWRP-THORPEX, UNFCCC, CEOS, CLIPS, DRR, GEO, World Bank, IRI

ПУБЛИКАЦИИ, ИНФОРМАЦИЯ В ИНТЕРНЕТЕ, КОНФЕРЕНЦИИ

Атласы ВПИК

Orsi, A. and T. Whitworth III, 2005: Hydrographic Atlas of the World Ocean Circulation Experiment (WOCE). Volume 1: Southern Ocean.

Talley, L. D., 2007: Hydrographic Atlas of the World Ocean Circulation Experiment (WOCE). Volume 2: Pacific Ocean. Series edited by M. Sparrow, P. Chapman and J. Gould. Southampton, United Kingdom, International WOCE Project Office. (http://www.noc.soton.ac.uk/OTHERS/woceipo/atlas_webpage/index.html)

Публикации

First WCRP/CLIVAR Science Conference, 2006: Journal of Climate, 19(20).

CLIVAR Atlantic Climate Predictability Workshop, 2006: Journal of Climate, 19(23).

CLIVAR Atlantic Climate Predictability, 2006: Journal of Climate, 19(23).

ISLSCP Initiative II: GEWEX investigations using a common global dataset, 2006: Journal of Geophysical Research, 111(d22).

CLIVAR North American Monsoon Experiment, 2007: Journal of Climate, 20(9).

GEWEX Special selection, 2007: Journal of Hydrometeorology, 8(4).

African Climate and Applications – Output from the "Africa day" at JSC-28, 2009: International Journal of Climatology, 29(7).

Climate extremes: progress and future directions, 2009: International Journal of Climatology, 29(3).

Hydrological Effects of a Shrinking Cryosphere, 2009: Hydrological Processes, 23(1).

Обзорные статьи о деятельности ВПИК. Приводится лишь небольшая выборка:

Doherty, S.J., S. Bojinski, A. Henderson-Sellers, K. Noone, D. Goodrich, N. L. Bindoff, J.A. Church, K.A. Hibbard, T.R. Karl, L. Kajfez-Bogataj, A.H. Lynch, D.E. Parker, I.C. Prentice, V. Ramaswamy, R.W. Saunders, M. Stafford Smith, K. Steffen, T.F. Stocker, P.W. Thorne, K.E. Trenberth, M.M. Verstraete and F.W. Zwiers, 2009: Lessons learned from IPCC AR4: Scientific developments needed to understand, predict and respond to climate change. BAMS, 90(4):497–513.

Giorgi, F., N. S. Diffenbaugh, X.J. Gao, E. Coppola, S.K. Dash, O. Frumento, S.A. Rauscher, A. Remedio, I.S. Sanda, A. Steiner, B. Sylla and A.S. Zakey, 2008:The Regional Climate Change Hyper-Matrix Framework. EOS, 89(45):445–446.

Griffies, S. M., A. Biastoch, C.W. B_ning, F. Bryan, G. Danabasoglu, E.P. Chassignet, M.H. England, R. Gerdes, H. Haak, R.W.Hallberg, W. Hazeleger, J. Jungclaus, W.G. Large, G. Madec, A. Pirani, B.L. Samuels, M. Scheinert, A.S. Gupta, C.A. Severijns, H.L. Simmons, A.M. Treguier, M. Winton, S. Yeager and J. Yin, 2008: Coordinated Ocean-ice Reference Experiments (COREs). Ocean Modelling, 26 (1-2):1–46.

Guilyardi, E., A. Wittenberg, A. Fedorov, M. Collins, C. Wang, A. Capotondi, G. J. van Oldenborgh and T. Stockdale, 2009: Understanding El Niño in ocean–atmosphere general circulation models: progress and challenges. BAMS, 90(3):325–340.

Kirtman, B. and A. Pirani, 2009: The state of the art of seasonal prediction outcomes and recommendations from the First WCRP Workshop on Seasonal Predictions. BAMS, 90(4):455–458.

Lawford, R., M. Bosilovich, S. Eden, S. Benedict, C. Brown, A. Gruber, P. Houser, K. Hou, J. Huang, W. Lau, T. Meyers, K. Mitchell, C. Peters-Lidard, J. Roads, M. Rodell, S. Sorooshian, D. Tarpley and S. Williams, 2006: U.S. contributions to the CEOP. BAMS, 87(7):927–939.

Lawford, R.G., P. Arkin, D. Lettenmaier and J. Roads, 2007: Past and future GEWEX contributions to large-scale hydrometeorology, Journal of Hydrometeorology, 8(7):629–641.

Lettenmaier, D.P., A. de Roo and R. Lawford, 2006: Toward a capability for global flood forecasting. WMO Bulletin, 55(3): 185–190.

Mayewski, P.A., M.P. Meredith, C.P. Summerhayes, J. Turner, A. Worby, P.J. Barrett, G. Casassa, N.A.N. Bertler, T. Bracegirdle, A.C. Naveira Garabato, D. Bromwich, H. Campbell, G.S. Hamilton, W.B. Lyons, K.A. Maasch, S. Aoki, C. Xiao and T. van Ommen, 2009: State of the Antarctic and Southern Ocean climate system. Rev. Geophys., 47(1): RG1003.

McPhaden, M.J., G.R. Foltz, T. Lee, V.S.N. Murty, M. Ravichandran, G.A.

Vecchi, J. Vialard, J.D. Wiggert and L. Yu, 2009: Ocean-atmosphere interactions during cyclone Nargis, Eos Trans. AGU, 90(7):53–60.

McPhaden, M.J., G. Meyers, K. Ando, Y. Masumoto, V.S.N. Murty, M. Ravichandran, F. Syamsudin, J. Vialard, L. Yu, and W. Yu, 2009: RAMA: The Research Moored Array for African–Asian–Australian Monsoon Analysis and Prediction. BAMS, 90(4):459-480.

Meehl, G.A., C. Covey, T. Delworth, M. Latif, B. McAvaney, J.F.B. Mitchell, R.J. Stouffer and K.E. Taylor, 2007: The WCRP CMIP3 multimodel dataset: a new era in climate change research. BAMS, 88(9):1383–1394.

Nobre, P., J.A. Marengo, I.F. Cavalcanti, G. Obregon, V. Barros, I. Camilloni, N. Campos, A.G. Ferreira, 2006: Seasonal-to-decadal predictability and prediction of South American climate. Journal of Climate, 19(23): 5988–6004.

Peterson, T.C. and M. J. Manton, 2008: Monitoring changes in climate extremes: a tale of international collaboration. BAMS, 89(9):1266–1271.

Sperber, K. R. and T. Yasunari, 2006: The 1st Pan-WCRP workshop on monsoon climate systems: Toward better prediction of monsoons. BAMS, 87(10):1399–1403.

Sperber, K. R. and D. E. Waliser, 2008: New approaches to understanding, simulating, and forecasting the Madden-Julian oscillation. BAMS, 89(10):1971–1920.

Trenberth, K. E. (2008): Observational needs for climate prediction and adaptation. WMO Bulletin, 57(1):17–21.

Trenberth, K. E., T. Koike and K. Onogi, 2008: Progress and prospects for reanalysis for weather and Climate. EOS, 89(26):234–235.

Vera, C., J. Baez, M. Douglas, C.B. Emmanuel, J. Marengo, J. Meitin, M. Nicolini, J. Nogues-Paegle, J. Paegle, O. Penalba, P. Salio, C. Saulo, M.A. Silva Dias, P. Silva Dias, and E. Zipser, 2006: The South American Low-Level Jet Experiment. BAMS, 87(1): 63–77.

Waliser, D. K., K. Sperber, H. Hendon, D. Kim, E. Maloney, M. Wheeler, K. Weickmann, C. Zhang, L. Donner, J. Gottschalck, W. Higgins, I.-S. Kang, D. Legler, M. Moncrieff, S. Schubert, W. Stern, F. Vitart, B. Wang, W. Wang, S. Woolnough, 2009: MJO simulation diagnostics [CLIVAR Madden-Julian Oscillation Working Group]. Journal of Climate, 22(11): 3006–3030

Информация в Интернете, просвещение

- Вебсайт ВПИК является основным источником информации о структуре программы и ее текущей деятельности (http://wcrp.wmo.int/wcrp-index.html). На нем указаны происходящие события и результаты работы как ВПИК, так и ее партнеров. Каждый из ключевых проектов ВПИК имеет свой собственный вебсайт.

- The WCRP e-zine (http://wcrp.wmo.int/Newsletter_index.html) – это квартальный электронный сервис новостей.

- ВПИК взяла на себя обязательство способствовать укреплению диалога между учеными и кругами, принимающими решения, в том числе за счет участия в работе Совещательного Органа по Науке и Технологическим Консультациям (SBSTA) Рамочной Конвенции ООН об Изменении Климата (UNFCCC).

Конференции

Understanding Sea-level Rise and Variability Workshop, Paris, June 2006.

Earth System Science Partnership (ESSP) Open Science Conference, Beijing, November 2006.

WGNE/PCMDI Workshop on Systematic Errors, San Francisco, February 2007.

Workshop on Seasonal Prediction, Barcelona, June 2007.

Future Climate Change Research and Observations: GCOS, WCRP and IGBP Learning from the IPCC Fourth Assessment Report, Sydney, October 2007.

Interpreting Climate Change Simulations, Trieste, November 2007

CFMIP/GCSS Workshop on Cloud-Climate Feedbacks, Paris, April 2007.

Third WCRP International Conference on Reanalysis, Tokyo, February 2008.

World Modelling Summit, Reading, May 2008.

Workshop on Climate Change and the Offshore Industry, Geneva, May 2008.

International Symposium on the Effects of Climate Change on the World's Oceans, Gijón, Spain, May 2008.

Summer School on ENSO Dynamics and Predictability, Puna, Hawaii, June 2008.

Second Pan-WCRP Monsoon Workshop (PWM2), held in conjunction with the WMO Fourth International Workshop on Monsoons (IWM-IV), Beijing, October 2008.

Workshop on Evaluating and Improving Regional Climate Projections, Toulouse, February 2009.

СОКРАЩЕНИЯ

ACSYS	Проект по Изучению Арктической Климатической Системы
AOPC	Экспертная Группа Атмосферных Наблюдений по Климату
AMMA	Междисциплинарный Анализ Африканских Муссонов
AMY	Муссонные Годы Азии
AR4	4-й Оценочный Доклад (ОД4)
CACGP	Комиссия по Химии Атмосферы и Глобальному Загрязнению
CAS	Комиссия WMO по Атмосферным Наукам
CASO	Проект «Климат Антарктиды и Южного Океана»
CCl	Комиссия по Климатологии WMO
CCMVal	Проект по Апробации Химико-Климатических Моделей
CEOP	Координированный Проект по Наблюдениям за Круговоротом Энергии и Воды
CEOS	Комитет по Спутникам Наблюдения Земли
CFMIP	Проект по сравнению моделей облачных обратных связей
CHFP	Проект по Совместному Историческому Прогнозу
CliC	Климат и Криосфера
CLIPS	Служба Климатической Информации и Прогноза
CLIVAR	Изменчивость и Предсказуемость Климата
CMIP	Проект по Сравнению Совместных Моделей
COPES	Координированное Наблюдение и Прогнозирование Системы «Земля»
CORDEX	Эксперимент по Координированному Даунскейлингу Регионального Климата
DEMETER	Развитие Системы Европейского Многомодельного Ансамбля для Предсказания от сезона до нескольких лет
DEWS	Система Раннего Оповещения о Засухах
DIVERSITAS	Международная Программа по Биологическому Разнообразию
DRI	Инициатива по Исследованию Засухи
DRR	Сокращение Риска Катастроф
ECMWF	Европейский Центр по Среднесрочным Прогнозам Погоды
ENSO	Эль-Ниньо – Южное Колебание
ESSP	Партнерство по Науке о Системе Земли
ETCCDI	Группа Экспертов по Выявлению и Индексам Изменения Климата
GACP	Глобальный Проект GEWEX по Климатологии Аэрозолей
GARP	Программа Глобального Исследования Атмосферы
GCOS	Глобальная Система Наблюдений за Климатом
GCP	Глобальный Проект по Углероду
GCSS	Проект GEWEX по Изучению Системы Облачности
GCW	Глобальная Криосферная Служба WMO
GECAFS	Глобальные Природные Изменения и Системы Продовольствия
GEC&HH	Глобальные Природные Изменения и Здоровье Человека
GEO	Группа по Наблюдению за Землей
GEOSS	Система Систем по Глобальным Наблюдениям за Землей
GEWEX	Эксперимент по Круговороту Энергии и Воды
GHG	Парниковые газы
GLOBEC	Глобальная Динамика Океанских Экосистем
GMPP	Группа Экспертов GEWEX по Моделированию и Прогнозированию
GODAE	Эксперимент по Усвоению Глобальных Океанических Данных
GOOS	Глобальная Система Наблюдения за Океаном
GPCP	Глобальный Проект GEWEX по Климатологии Глобальных Осадков
GVAP	Глобальный Проект GEWEX по Водяному Пару
GWSP	Глобальный Проект по Водной Системе
iAOSS	Комплексная Система Наблюдений за Северным Ледовитым океаном
IASC	Международный Комитет по Наукам об Арктике
ICSU	Международный Совет по Науке
ICTP	Международный Центр Теоретической Физики
IGAC	Международный Проект по Глобальной Химии Атмосферы
IGBP	Международная Программа по Геосфере и Биосфере
IHDP	Международная Программа по Человеческому Фактору
IGOS	Объединенная Стратегия Глобальных Наблюдений
IGOS-Cryo	Система Наблюдения за Криосферой IGOS
IMBER	Комплексные Исследования Морской Биогеохимии и Экосистем
IOC	Межправительственная Океанографическая Комиссия ЮНЕСКО
IPCC	Межправительственная Группа Экспертов по Изменению Климата (МГЭИК)
IPY	Международный Полярный Год
IRI	Международный Институт Исследований Климата и Общества
ITCZ	Внутритропическая Зона Конвергенции
JCOMM	Совместная Техническая Комиссия WMO и МОК ЮНЕСКО по Океанографии и Морской Метеорологии
MESA	Муссонный Эксперимент в Южной Америке
MJO	Колебания Маддена-Джулиана
MOC	Меридиональная циркуляция океана
NAME	Северо-Американский Муссонный Эксперимент
NAO	Северо-Атлантическое колебание
NWP	Численный прогноз погоды
OOPC	Экспертная Группа Океанских Наблюдений по Климату
PAGES	Проект «Глобальные Изменения в Прошлом»
PCMDI	Программа по Диагностике и Сравнению Климатических Моделей
RCM	Региональные Климатические Модели
SAON	Инициатива по Поддержке Сетей Арктических Наблюдений
SBSTA	Совещательный Орган по Науке и Технологиям при UNFCCC
SCAR	Научный Комитет по Исследованиям Антарктики
SCOR	Научный Комитет по Океаническим Исследованиям
SOLAS	Проект «Изучение Верхнего Слоя Океана – Нижней Атмосферы»
SOOS	Система Наблюдения Южного Океана
SPARC	Стратосферные Процессы и их Роль в Климате
START	Система для Анализа, Исследований и Обучения
SST	Температура поверхности океана
TACE	Эксперимент по Тропическому Климату Атлантики CLIVAR
TFRCD	Целевая Рабочая Группа по Региональному Климатическому Даунскейлингу
THORPEX	Эксперимент по Исследованию Системы Наблюдений и Предсказуемости
TOGA	Программа «Тропический Океан и Глобальная Атмосфера»
TOPC	Глобальная Система Наблюдений за Сушей
UNEP	Программа ООН по Окружающей Среде
UNESCO	Организация ООН по Образованию, Науке и Культуре
UNFCCC	Рамочная Конвенция ООН по Изменениям Климата
VACS	Группа Экспертов ВПИК/CLIVAR по Изменчивости Африканской Климатической Системы
VAMOS	Программа «Изменчивость Американских Муссонных Систем»
VOCALS	Международный Проект «Исследование Океана-Облачности-Атмосферы-Суши»
WG	Рабочая группа
WGCM	Рабочая Группа по Совместному Моделированию
WGNE	Рабочая Группа по Численному Экспериментированию
WGSF	Рабочая Группа по Поверхностным Потокам
WGSIP	Рабочая Группа по Сезонному и Межгодовому Прогнозированию
WMO	Всемирная Метеорологическая Организация
WOCE	Эксперимент по Циркуляции Мирового Океана
WOAP	Группа Экспертов ВПИК по Наблюдениям и их Усвоению
WWRP	Всемирная Программа Исследований Погоды
YOTC	Год по Исследованию Тропической Конвекции

Как подключиться к работе ВПИК

Значительные достижения ВПИК неразрывно связаны с активным участием в ее работе ведущих ученых-климатологов, а также с тесным сотрудничеством Программы с различными организациями по всему земному шару. Сотрудничество с ВПИК осуществляется следующим образом:

Спонсоры: Спонсоры оказывают финансовую поддержку Программе в целом или спонсируют конкретных ученых, ключевые проекты ВПИК или междисциплинарные научные исследования. Многие совещания и конференции ВПИК возможны только благодаря поступлениям средств из более, чем одного источника. Например, сравнительно небольшие вклады позволяют ученым из развивающихся стран принять участие в региональной и международной деятельности ВПИК по развитию научного потенциала, которая осуществляется на уровне, превосходящем возможности отдельных стран.

Партнеры: Партнеры поддерживают начинания ВПИК путем определения совместных научных приоритетов, вклада научных экспертов и объединения финансовых ресурсов для выполнения совместных проектов. ВПИК приветствует формирование партнерских отношений с предприятиями, неправительственными и межправительственными организациями, фондами и ассоциациями.

Национальные академии, ведомства и комитеты по климату: Активное участие национальных служб и национальных академий наук приносит ВПИК огромную пользу. Ценным вкладом является образование национальных Комитетов по климату как звеньев широкой международной сети комплексного изучения климата. Громадную пользу всем участникам Программы приносит координация исследований, позволяющая избегать дублирования.

Ученые: ВПИК приглашает ученых информировать центральный секретариат ВПИК об их климатических исследованиях и может предложить варианты их подключения к национальным, региональным и международным инициативам. Объединенный Научный Комитет ВПИК, руководители ключевых проектов и междисциплинарных исследований будут рады предложениям о научном партнерстве, которые смогут содействовать реализации стратегической концепции ВПИК.

Заинтересованные лица приглашаются знакомиться с текущей работой ВПИК, подписавшись на квартальный электронный журнал новостей (E-Zine, на английском языке). Пожалуйста, присылайте новости о своих научных находках, свежих публикациях, предстоящих или успешно завершенных научных совещаниях и конференциях, которые будут помещены на вебсайте ВПИК.

Объединенный Штаб Планирования ВПИК:
c/o World Meteorological Organization
7 bis, Avenue de la Paix
Case Postale 2300
CH-1211 Geneva 2, Switzerland
Телефон: +41 22 730 8111 Факс: +41 22 730 8036
E-mail: wcrp@wmo.int Интернет: http://wcrp.wmo.int

WCRP World Climate Research Programme

WMO UNESCO IOC ICSU International Council for Science