

Всемирная программа исследований климата: достижения, виды деятельности и задачи

Антонио Дж. Басалачи¹, Гассем Р. Асрап²

После Второй мировой войны достижения в области наблюдений и понимания динамики атмосферной циркуляции в сочетании с развивающимися цифровыми вычислительными и телекоммуникационными технологиями ознаменовали появление новой сферы численного прогнозирования погоды. Социальная польза научных открытий и технологических инноваций проявляется в сегодняшних регулярных ежедневных и еженедельных прогнозах погоды.

Сегодня в результате успехов, достигнутых в области науки о климате за последние 30 лет, значительно повысились возможности прогнозирования сезонной и межгодовой изменчивости климата Земли и подготовки проекций изменения климата для крупных регионов земного шара в масштабе столетий. Заглядывая в будущее, мы видим, что находимся в начале новой эпохи предсказания поведения системы Земля, имеющей огромный потенциал для удовлетворения потребностей глобального сообщества в информации о климате и окружающей среде в масштабе от дней до сезонов, от лет до десятилетий и более. Координация и сотрудничество между странами во всем мире являются и будут являться отличительной чертой такого прогресса. Всемирная программа исследований климата (ВПИК) была учреждена в 1980 г. при совместной спонсорской поддержке ВМО и Международного совета по науке

(МСНС), а с 1993 г. и Межправительственной океанографической комиссии ЮНЕСКО. Основные задачи ВПИК с самого начала состоят в том, чтобы определить степень предсказуемости климата и определить степень влияния деятельности человека на климат. Эти фундаментальные задачи заложили основу для сегодняшних стратегий адаптации общества к изменениям климата и смягчения последствий. Благодаря усилиям ВПИК, ученые-климатологи теперь могут осуществлять мониторинг глобального климата, моделировать и проецировать его с тем, чтобы климатическую информацию можно было использовать для управления, принятия решений и поддержки широкого круга практических применений.

За эти 30 лет в рамках науки о климате появились новые дисциплины, которые вышли за пределы областей традиционных наук об атмосфере, океане и суше и привели к выпуску сезонно-межгодовых предсказаний климата, а также проекций климата на более долгосрочный период на регулярной основе. Разработка под эгидой ВПИК сопряженных моделей климата, обусловленная изменениями в радиационном воздействии, связанными с выбросом парниковых газов, параллельно с исследованием естественных колебаний сопряженной климатической системы позволила подготовить проекции изменения климата, которые послужили фундаментом для оценок Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) и программы Организации Объединенных Наций по оценке разрушения/восстановления озона в атмосфере.

Прошлые достижения

Современная наука о климате началась с создания в 1950 и 1960-х гг. физических численных моделей циркуляции атмосферы и океана. В 1960- и 1970-х гг. наблюдения с новых низкоорбитальных спутников Земли, запущенных непосредственно для поддержки прогнозирования погоды, обеспечили возможность беспрецедентного взгляда на Землю как на систему, в которой атмосфера, океаны, континенты и жизнь взаимосвязаны, и на временные изменения в этой системе, значительно более долгосрочные, чем повседневные явления погоды.

Первая глобальная оценка атмосферной циркуляции и климатической системы Земли позволила проводить исследования глобального климата и определила важные физические процессы в климатической системе. Идея о международной программе исследований изменения климата появилась на Восьмом Всемирном метеорологическом конгрессе в мае 1979 г., который официально учредил ВПИК, включая компонент, касающийся исследования климата (который должен был осуществляться под совместным руководством ВМО и МСНС) и деятельности по сбору, управлению и применению климатических данных для оценки потенциальных последствий изменения климата (которая должна была осуществляться под управлением Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП)). ВПИК с самого начала была сосредоточена на двух основных проблемах: предсказуемость климата и влияние человека.

1 Директор Междисциплинарного центра наук о системе планеты Земля, Университет Мэриленд, Колледж Парк, США

2 Директор Всемирной программы исследований климата, ВМО

ВПИК выявила научную комплексность и широту климатической системы: в научном плане программы, подготовленном в 1984 г., четко определена роль радиации, облачности, океана, гидрологического цикла и биосферы. Океаны, поверхность суши, криосфера и биосфера – все необходимо реалистично представить в глобальных моделях климата. Широкое развитие моделей и численного экспериментирования потребовало изучения чувствительности климата к изменениям в концентрации углекислого газа в атмосфере (а также других газов и аэрозолей). Выполненная в то время работа по оценке исследования воздействия углекислого газа на климат предвосхитила потребности МГЭИК. Принимая во внимание критически важную роль океанов, было установлено тесное сотрудничество с океанографическим сообществом, при этом в 1993 г. МОК присоединилась к ВПИК в качестве кооператора.

Первая инициатива ВПИК по исследованию сопряженной системы атмосфера–океан, Программа исследований глобальной атмосферы и тропической зоны океанов (ТОГА), была начата в 1984 г. ТОГА изучала влияние медленно изменяющейся тепловой инерции тропических океанов на крупномасштабную циркуляцию атмосферы. Признание того факта, что океаническим процессам присущ более долгосрочный временной масштаб или память, позволило выпускать краткосрочные прогнозы климата с заблаговременностью, превышающей заблаговременность ежедневного прогнозирования погоды. Сопряженные прогнозы инициализировали требования в отношении океанических наблюдений, что привело к созданию прототипа системы наблюдений за океаном, действующей в настоящее время.

Во время десятилетия ТОГА регулярные наблюдения за взаимодействием атмосферы и океана и тепловой структурой верхнего слоя океана в тропической части Тихого океана предоставлялись в реальном времени с помощью системы буев наблюдения тропической зоны океана/атмосферы (ТАО). С тех пор наблюдения с помощью заякоренных буев в Тихом океане были продолжены, а также стали проводиться в Атлантическом и Индийском океанах, закладывая, таким образом, твердую основу для сегодняшней системы наблюдений за океаном.

Усвоение океанографических данных оказалось ключевым элементом для

инициализации сезонно-межгодовых прогнозов климата. Сопряженные прогностические модели океан–атмосфера были осуществлены во многих крупных прогностических центрах мира (рис. 1). Это привело к выдающимся достижениям в области сезонных прогнозов климата, основанных на наблюдениях, понимании и моделировании распространенных по всему миру аномалий глобальной циркуляции атмосферы, режимах температуры и осадков, связанных с Эль-Ниньо посредством дальних корреляционных связей. Появилась концепция климатической продукции и обслуживания.

Кроме того, во время ТОГА развился общий подход к науке о климате. До ТОГА, в период с начала до середины 1980-х гг., океанографы и метеорологи часто принадлежали к самостоятельным и четко различаемым сообществам. В ходе выполнения ТОГА эти сообщества объединились, чтобы сформировать новую дисциплину в науке о климате, понимая, что есть режимы изменчивости, которые существуют в сопряженной системе океан–атмосфера и не существуют отдельно в океане или атмосфере.

Как ТОГА оставила наследие, на базе которого была впоследствии учреждена Программа по изучению изменчивости и предсказуемости климата (КЛИВАР), так и Эксперимент ВПИК по циркуляции Мирового океана (ВОСЕ) создал прочную основу для изучения роли океана в климате. ВОСЕ явился самой крупной и наиболее успешной программой по исследованию океана, которая когда-либо предпринималась.

В период с 1990 по 1997 г. в рамках ВОСЕ были собраны океанографические данные беспрецедентного качества и охвата. Эти данные, полученные от 30 стран, сыграли фундаментальную роль в разработке океанических моделей масштаба бассейна и сформировали наше сегодняшнее понимание процессов перемешивания энергии и питательных веществ в океане. ВОСЕ оставил значительный отпечаток на наших знаниях о Мировом океане, изменениях в технологии, которую используют океанографы, и общих изменениях в научных методах исследования океана. Во время ВОСЕ произошло осознание глобальной концепции о том, что Мировой океан меняется во времени сверху донизу.

Понятие устойчивой общей циркуляции океана или метод «моментального снимка» при наблюдении за океаном были опровергнуты повторяющимися разрезами, выполненными во время глобальной гидрографической съемки ВОСЕ. С помощью этой съемки было установлено исходное состояние, чтобы оценить изменения глобальной циркуляции океана во времени и антропогенное воздействие на нее. В партнерстве с Совместным исследованием глобальных океанических потоков, проводимым США, была осуществлена гидрографическая съемка углекислого газа и химического состава микропримесей. Исследование региональных процессов и кампании по проведению сконцентрированных наблюдений улучшили наши знания о Южном океане и о формировании глубоководного слоя в морях Гренландско-Исландско-Норвежского и Лабрадорского бассейнов

Сезонные прогнозы Эль-Ниньо 1997/98 года

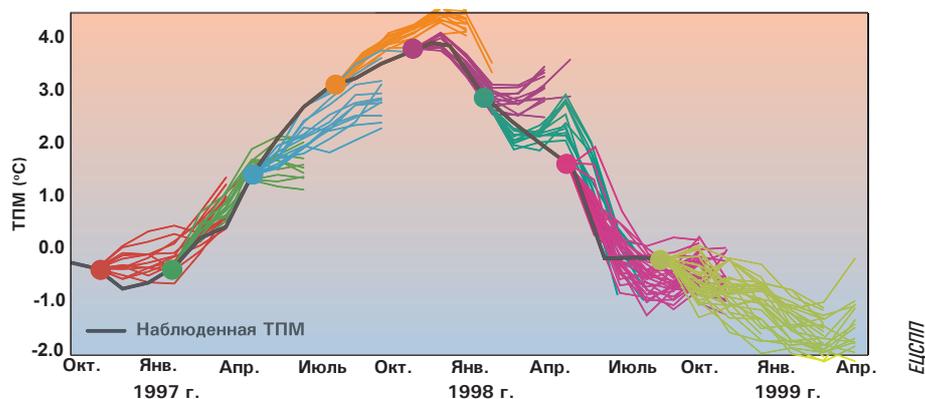


Рисунок 1 – Демонстрация успешных прогнозов ЭНСО, показанная для явления, наблюдавшегося в 1997/98 г., стала возможной благодаря интенсивным исследованиям в области сезонных прогнозов. Физическая основа для понимания и предсказания с заблаговременностью от сезона до года температурных сигналов Эль-Ниньо и связанных с ними изменений в глобальной циркуляции атмосферы была заложена во время выполняемой в рамках ВПИК Программы исследований глобальной атмосферы и тропической зоны океанов (ТОГА, 1985–1994 гг.).

и уточнили понимание глобальной термохалинной циркуляции и меридионального переноса тепла от экватора к полюсу.

Достижения в технологии наблюдений за океаном сыграли основную роль в формировании глобального видения океана. Радиолокационные высотометры на спутниках ТОПЭКС/Посейдон и европейских спутниках обеспечили непрерывные наблюдения за высотой морской поверхности в глобальном масштабе. Микроволновые спутниковые датчики активного и пассивного зондирования обеспечивали в любую погоду выборку значений скорости ветра на поверхности океана. Совершенствование приборов и их калибровки привели к улучшению возможностей для измерения потоков атмосфера–океан как с судов, так и закоренных платформ. В океане программа дрейфующих буев ВОСЕ привела к развертыванию программы АРГО и появлению концепции размещения ныряющих буев в глобальном масштабе. Экспериментальные устройства, такие как буера, продемонстрировали потенциал для выполнения повторяющихся разрезов в исторически трудных для наблюдения районах океана, таких как районы западных пограничных течений.

Сегодня существуют глобальные модели океана, инициированные усилиями сообщества ВОСЕ по моделированию и активизированные достижениями в компьютерной технологии, которые охватывают активные пограничные течения и соответствующие процессы неустойчивости и обеспечивают динамически последовательное описание многих наблюдаемых аспектов циркуляции океана, внося вклад в понимание роли океанов в климатической системе планеты Земля. ВОСЕ изменил способ изучения научным сообществом роли океана в климате. Идея синтеза в изучении океана, когда данные наблюдения в точке и/или данные дистанционного зондирования объединены с методами усвоения данных, революционизировала подход к глобальной океанографии. Наблюдения за глобальным океаном в реальном времени открыли возможность для оперативной океанографии в глобальном масштабе; это одна из важных тем на предстоящей Конференции 2009 г. по наблюдениям за океаном (Венеция, Италия, сентябрь 2009 г.). Мы сейчас находимся на этапе, когда океанографический эквивалент Всемирной службы по-

годы – это не безумие, ограниченное материально-техническим обеспечением, а фактически то, что очень близко к реальности.

Сегодняшняя деятельность

Другими важными инициативами ВПИК были Международный проект по спутниковой климатологии облаков в 1982 г., формирование начиная с 1985 г. комплекта данных по приземному радиационному балансу и Глобальный проект по климатологии осадков в 1985 г. Данные инициативы осуществлялись на основе новых интересных методик, разработанных для оптимального сочетания наблюдений в точке и дистанционного зондирования, и впервые обеспечивали новое представление о роли облаков в климатической системе и их взаимодействии как с радиацией, так и с гидрологическим циклом. Эта деятельность сформировала исходный рубеж для комплексного Глобального эксперимента по изучению энергетического и водного циклов (ГЭКЭВ), который по-прежнему является одним из самых крупных глобальных экспериментов в этой области. По существу, ГЭКЭВ занимает ведущие позиции в проводимых в рамках ВПИК исследованиях динамики и термодинамики атмосферы, взаимодействия атмосферы с поверхностью Земли (особенно над сушей) и глобального водного цикла. Цель ГЭКЭВ заключается в том, чтобы с помощью наблюдений и надлежащих моделей воспроизвести и спрогнозировать колебания в глобальном гидрологическом режиме, его воздействие на атмосферную

и приземную динамику, колебания в региональных гидрологических процессах и водных ресурсах и их реагирование на изменения в окружающей среде, такие как повышение концентрации парниковых газов.

ГЭКЭВ стремится на порядок величины повысить возможности для моделирования глобальных осадков и испарения, а также дать точную оценку обратной связи между атмосферной радиацией, облаками, землепользованием и изменением климата. К настоящему времени посредством улучшения параметризации и с помощью ее применения для экспериментальных прогнозов в рамках ГЭКЭВ разработаны модели следующего поколения с высоким разрешением. В рамках ГЭКЭВ созданы глобальные комплекты данных по облакам, радиации, осадкам и другим параметрам, которые имеют неограниченное значение для понимания и прогнозирования процессов глобального энергетического и водного циклов и их надлежащего представления в моделях климатической системы (рис. 2). Исследования с использованием моделей и скоординированные полевые эксперименты позволили определить ключевые процессы и условия на земной поверхности, которые вносят наиболее значительный вклад в предсказуемость осадков. В рамках ГЭКЭВ разрабатываются системы усвоения приземных данных, которые охватывают особенности земной поверхности с разрешением до 1 км, что будет иметь колоссальное значение для исследования и оценок изменчивости и изменения регионального климата.

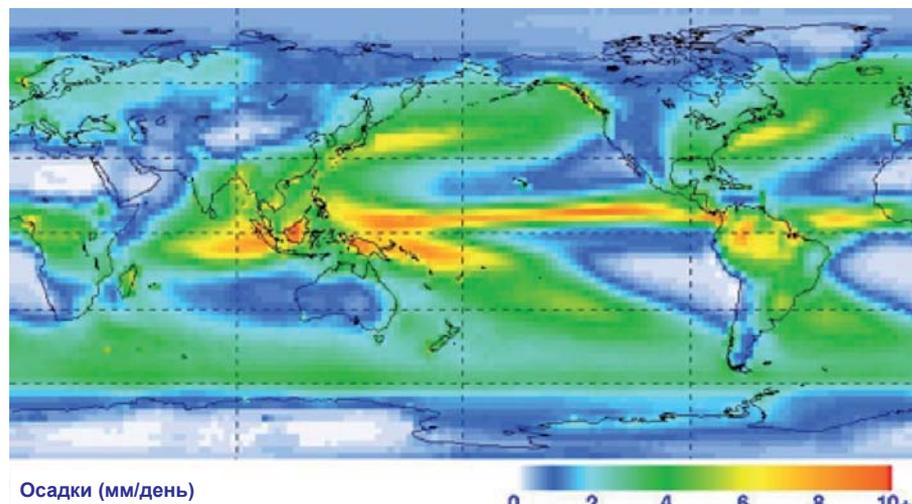


Рисунок 2 – Средненная за 30-летний период 1979–2008 гг. продукция по осадкам в мм/день, полученная в рамках Глобального проекта по климатологии осадков ГЭКЭВ на основе сочетания спутниковых данных и данных осадкомеров. Данные любезно предоставлены ГЭКЭВ/ГПКО; снимок Дэвида Болвина (SSAI), 5 июня 2009 г., НАСА/Годдардский центр космических полетов, Гринбелт, Мэриленд.

Программа по изучению изменчивости и предсказуемости климата (КЛИВАР), учрежденная в 1995 г., является основным направлением деятельности ВПИК в области исследований изменчивости климата. Муссоны, явление Эль-Ниньо/Южное колебание и другие явления, предполагающие взаимодействие атмосферы и океана, исследуются в рамках КЛИВАР в сезонном, межгодовом, десятилетнем и столетнем временном масштабах. КЛИВАР строит свою деятельность и развивается на основе заключений успешно завершенных проектов ВПИК ТОГА и ВОСЕ. В рамках КЛИВАР на основе высококачественных климатических данных осуществляется дальнейшая работа по обнаружению и объяснению причин антропогенного изменения климата.

Задача КЛИВАР состоит в том, чтобы наблюдать, моделировать и прогнозировать климатическую систему Земли с акцентом на взаимодействие океана и атмосферы, обеспечивая возможность для лучшего понимания изменчивости, предсказуемости и изменения климата на пользу общества и окружающей среды, в которой мы живем. КЛИВАР стремится содействовать анализу наблюдений за колебаниями и изменением климата во временных масштабах от сезона до столетия, а также в более долгосрочных временных масштабах. Программа тесно сотрудничает с ГЭКЭВ в изучении и в конечном счете прогнозировании систем муссонов по всему миру. Она содействует проведению и координации исследований с использованием данных наблюдений за климатическими процессами над океаном и над территориями континентальных муссонов, поощряя использование этих данных для совершенствования моделей.

КЛИВАР содействует развитию устойчивой системы наблюдений за океаном как на региональном, так и на глобальном уровне. В сотрудничестве с другими проектами ВПИК КЛИВАР, в частности, пытается понять и предсказать взаимосвязанное поведение быстро меняющейся атмосферы и более медленно меняющихся поверхностей суши, океанов и ледовых масс по мере их реагирования на естественные и антропогенные процессы, изменения в химическом составе, флоре и фауне Земли, что позволяет уточнить оценки антропогенного изменения климата и наше понимание изменчивости климата.

КЛИВАР обеспечивает научный вклад в рассмотрение комплексных тем ВПИК, касающихся сезонного прогнозирования и прогнозирования на десятилетия, а также (совместно с ГЭКЭВ) муссонов и экстремальных климатических явлений. Она также вносит вклад в рассмотрение тем, касающихся антропогенного изменения климата и химического состава атмосферы (совместно с Проектом по исследованию стратосферных процессов и их роли в климате (СПАРК)), изменчивости и изменения уровня моря (совместно с Программой «Климат и криосфера») и комплексных научных тем по климату. К достижениям КЛИВАР относится разработка улучшенного понимания и прогнозирования изменчивости и изменения климата.

КЛИВАР обеспечивала координацию экспериментов по разработке климатических сценариев для МГЭИК на основании моделей, а также подготовку ключевой информации об изменениях в экстремальных климатических явлениях для Четвертого доклада МГЭИК об оценках. Под руководством КЛИВАР осуществлялась деятельность по взаимному сравнению моделей, направленная на улучшение сезонных прогнозов и повышение эффективности моделей. Изучение роли океана в формировании климата являлось одной из главных задач при координации полевых исследований с целью улучшения схем параметризации климатических моделей атмосферы и океана, синтеза данных об океане и содействия получению данных наблюдений за океаном в реальном режиме времени, а также высококачественных данных в задержанном режиме для проведения оперативных работ в океане и океанографических исследований.

В рамках КЛИВАР были организованы важные учебно-практические семинары по проблемам, касающимся сезонного прогнозирования в Африке, воздействия климата на экосистемы, климатических данных, экстремальных климатических явлений и явления Эль-Ниньо/Южное колебание. Одним из конкретных примеров является разработка электронного Атласа Африканского климата в качестве инструмента для исследования климата Африки.

С 1993 г. внимание Проекта ВПИК по исследованию стратосферных процессов и их роли в климате (СПАРК) сосредоточено на роли стратосферы в климатической системе. СПАРК сконцентрирован на изучении вза-

имодействия динамических, радиационных и химических процессов в атмосфере. К деятельности, организованной в рамках СПАРК, относится создание базы справочных данных по климатологии стратосферы и улучшение понимания тенденций, наблюдаемых в отношении температуры, озона и водяного пара в стратосфере. Другие темы, которыми сейчас занимается СПАРК, касаются процессов, характерных для гравитационных волн, их роли в динамике стратосферы и методов их параметризации в моделях.

Исследования взаимодействия стратосферы и тропосферы привели к новому пониманию изменений в температуре тропосферы, инициированных из стратосферы. В рамках СПАРК были организованы модельные расчеты и анализ, которые явились центральным элементом в Научных оценках истощения озонового слоя и наблюдаемого в настоящее время его восстановления, подготовленных ВМО и ЮНЕП (рис. 3). Ученые, работавшие в рамках СПАРК, входили в состав Руководящего комитета по подготовке оценки ВМО/ЮНЕП в качестве ведущих и содействующих авторов и рецензентов. К комплексным, прошедшим экспертную оценку отчетам СПАРК относятся: «Тренды в вертикальном распределении озона»; «Водяной пар в верхней тропосфере и стратосфере»; «Взаимное сравнение климатологий средней атмосферы»; «Свойства стратосферного аэрозоля». Ученые ВПИК обеспечили значительную часть научной основы для протоколов по озону и сценариев выбросов углекислого газа и аэрозолей, которые использовались Рамочной конвенцией Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИК ООН).

В 1993 г. Изучение климатической системы Арктики (АКСИС) открыло перспективы для изучения полярного климата, начав с исследования ключевых процессов в Арктике, которые играют важную роль в глобальном климате. Сфера этого изучения была расширена с тем, чтобы с учреждением в 2000 г. программы «Климат и криосфера» (КЛИК) охватить всю криосферу в глобальном масштабе. КЛИК была учреждена, чтобы стимулировать, поддерживать и координировать исследование процессов, посредством которых криосфера взаимодействует с остальной частью климатической системы.

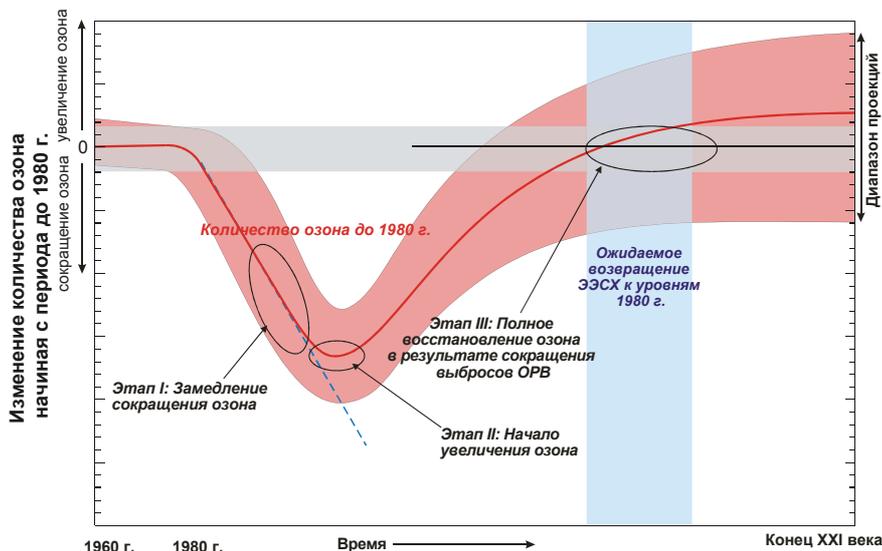


Рисунок 3 – По линии Проекта по исследованию стратосферных процессов и их роли в климате (СПАРК) ученые, связанные с ВПИК, входили в состав Группы экспертов ВМО/ЮНЕП по подготовке научной оценки истощения озонового слоя в качестве ведущих и содействующих авторов и рецензентов. На схематической диаграмме показана эволюция во времени наблюдаемого и ожидаемого количества озона. Источник: научная оценка ВМО/ЮНЕП 2006 г., касающаяся истощения озонового слоя.

Криосфера состоит из замерзших элементов земного шара и включает ледовые щиты, ледники, ледяные шапки, айсберги, морской лед, снежный покров, слой выпавшего снега, вечную мерзлоту, сезонную мерзлоту грунта, а также озерный и речной лед. Являясь чувствительным компонентом климатической системы, криосфера обеспечивает ключевые индикаторы изменения климата (например, повышение

уровня моря, рис. 4), а КЛИК сосредоточен на определении режимов и темпов изменения в параметрах криосферы. КЛИК рассматривает четыре темы, охватывая следующие области науки о климате и криосфере: криосфера поверхности суши и гидрометеорология холодных регионов; массы льда и повышение уровня моря; морская криосфера и климат, глобальное прогнозирование криосферы.

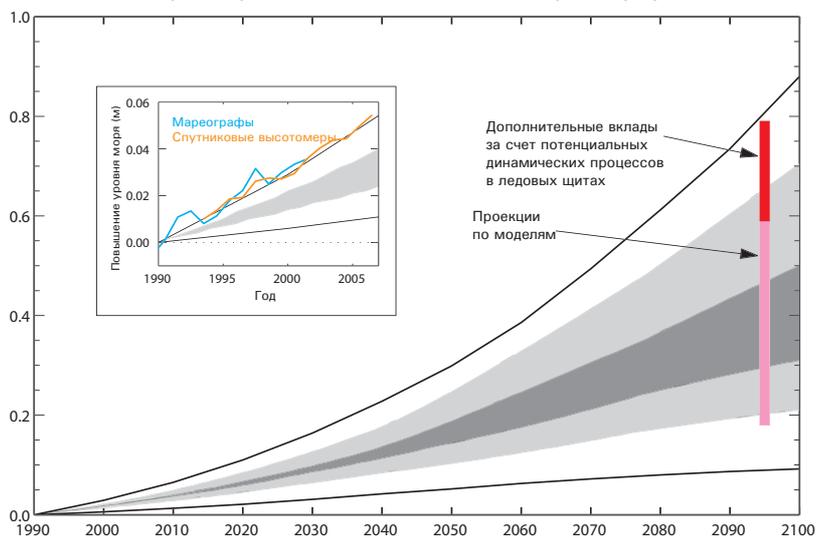


Рисунок 4 – Знания о климате и понимание климата, полученные в результате научных исследований, необходимо открыто и своевременно предоставлять лицам, принимающим решения с тем, чтобы это приносило пользу человеческому обществу и окружающей среде. Например, оценки уязвимости прибрежных населенных пунктов и низко расположенных районов, таких как государства на островах Тихого океана и другие островные государства, подверженные воздействию повышения уровня моря, основаны на восстановленных и спроецированных для XXI века значениях повышения уровня моря (м). Один из новых видов деятельности в рамках программы «Климат и криосфера» (КЛИК) в настоящее время сконцентрирован на оценке вклада ледяных шапок и ледников в глобальный уровень моря. Источник: откорректированный и обновленный Дж. Черчем материал на основе работы Church et al. 2001, цитируемой в Четвертом докладе МГЭИК об оценках.

КЛИК сформировала значительный вклад сообщества, занимающегося изучением климата, в научную программу Международного полярного года 2007/2008. Указанный вклад включает концепцию моментальных полярных спутниковых снимков, направленную на получение беспрецедентного охвата обоих полярных регионов. КЛИК явилась одной из основных научных программ, которая привлекла внимание мировой научной общественности к криосфере. Впервые в Четвертый доклад МГЭИК об оценках была включена глава о снеге, льде и мерзлом грунте. В докладе подробно говорится, что вклад талой воды в недавнее изменение уровня моря определен в настоящее время со значительно большей степенью точности.

Разработка и оценка глобальных моделей климата является важным комплексным компонентом ВПИК, опирающимся на научные и технические достижения в видах деятельности, ориентированных на конкретные дисциплины. Эти модели являются основополагающим инструментом для понимания и прогнозирования естественных колебаний климата и предоставления надежных прогнозов естественного и антропогенного изменения климата. Модели являются необходимым средством для эффективного совместного использования и объединения всех данных об атмосфере, океане, криосфере и поверхности суши, собранных в рамках ВПИК и других программ. Рабочая группа по численному экспериментированию (РГЧЭ), совместно спонсируемая ВПИК и Комиссией ВМО по атмосферным наукам (КАН), возглавляет разработку моделей атмосферы как для климатических исследований, так и для численного прогнозирования погоды.

Программа ВПИК по моделированию обеспечила весьма важный вклад в четыре опубликованных доклада МГЭИК об оценках и вновь делает это в следующем раунде оценок МГЭИК. Рабочая группа ВПИК по сопряженному моделированию (РГСМ) возглавляет разработку сопряженных моделей океан/атмосфера/суша, которые используются для изучения климата в долгосрочных временных масштабах. РГСМ связывает ВПИК с проектом Международной программы геосфера-биосфера (МПГБ) «Анализ, интеграция и моделирование системы Земля» и с МГЭИК. Деятельность в этой области сконцентрирована на выявлении ошибок

в моделировании климата и изучении возможностей для сокращения их количества посредством организации скоординированных модельных экспериментов в стандартных условиях. В рамках компетенции ВПИК Проект взаимного сравнения атмосферных моделей содействовал проведению контролируемого моделирования с использованием 30 различных атмосферных моделей в заданных условиях. Сравнение результатов моделирования с результатами наблюдений показало способность многих моделей адекватно отображать средние сезонные состояния и крупномасштабную межгодовую изменчивость.

Кроме того, РГСМ инициировала серию проектов по сравнению совмещенных моделей (ПССМ). В 2005 г. ВПИК содействовала обеспечению сбора, архивации и доступа ко всем данным моделирования глобального климата, предпринятого для Четвертого доклада МГЭИК об оценках. Третий этап ПССМ (ПССМ3) был отмечен беспрецедентной серией скоординированных экспериментов XX и XXI веков по моделированию изменения климата, представлявших 16 групп из 11 стран с 23 глобальными сопряженными моделями климата. В рамках Программы по диагностике и взаимному сравнению моделей климата было собрано около 31 терабайта выходных данных моделей. Данные моделирования находятся в свободном доступе и ими воспользовались более 1 200 ученых, которые на сегодняшний день подготовили свыше 200 прошедших экспертную оценку работ.

Первый практический семинар ВПИК по сезонному прогнозированию состоялся в июне 2007 г. в Барселоне (Испания), объединив ученых, занимающихся изучением климата, поставщиков прогнозов и экспертов по применениям, чтобы рассмотреть текущее состояние сезонного прогнозирования и применения сезонных прогнозов лицами, принимающими решения. Участники семинара разработали в общих чертах рекомендации и выявили передовой опыт в области научных основ сезонного прогнозирования. Во время семинара было начато осуществление проекта ВПИК по прогнозированию климатической системы в исторической ретроспективе. Это – проект представляет собой мультимодельную и многоинституциональную экспериментальную основу для оценки новейших систем сезонного прогнозирования и определения потенциала для исследования предсказуемости, еще не полностью

изученной в связи с взаимодействием компонентов климатической системы, которое не в полной мере учтено в сезонных прогнозах.

Всемирная встреча на высшем уровне по моделированию для прогнозирования климата, совместно спонсируемая ВПИК, МПГБ и Всемирной программой метеорологических исследований ВМО (6–9 мая 2008 г., Реддинг, Соединенное Королевство) была организована с целью разработки стратегии прогнозирования климата в XXI веке для оказания содействия в противостоянии угрозе изменения климата. Основным результатом Встречи на высшем уровне явилось неоспоримое установление того факта, что наша способность как научного сообщества перейти от исследования изменчивости и изменения глобального климата к применениям на региональном уровне имеет огромные последствия для сегодняшних и будущих моделей климата, наблюдений и необходимой инфраструктуры, такой как высокопроизводительные вычислительные средства.

На протяжении всей своей истории ВПИК осуществляла широкомасштабное взаимодействие со многими группами, связанными с климатом и исследованием климата и широко сотрудничала с другими международными научными организациями по аспектам климатических исследований, которые касаются биогеохимии и физики. Множественные примеры активного сотрудничества между ВПИК и МПГБ можно найти в рамках проектов ГЭКЭВ, СПАРК и КЛИВАР. Кроме того, ВПИК решительно поддерживала учреждение ВМО Глобальной системы наблюдений за климатом (ГСНК) в 1992 г. в сотрудничестве с МСНС, ЮНЕП и МОК. ВПИК также является одним из спонсоров международной Системы для анализа научных исследований и обучения (СТАРТ) по глобальному изменению, которая содействует развитию научно-исследовательского потенциала в области окружающей среды в развивающихся странах. В 2001 г. проекции возможного будущего изменения и возрастающих колебаний климата стимулировали создание Партнерства по научным системным исследованиям Земли с участием ВПИК, МПГБ, Международной программы по изучению антропогенных факторов глобальных изменений окружающей среды и Международной программы по исследованиям в области биоразнообразия (ДИВЕРСИТАС). Это партнерство

поддерживает скоординированную концентрацию усилий на важных глобальных вопросах, являющихся предметом общей озабоченности, а именно: углеродный баланс, продовольственные системы, системы водоснабжения и здоровье человека и другие столь же важные для деятельности человека темы, на которые могут оказать влияние возможное будущее изменение климата и его возрастающая изменчивость.

Будущие задачи/ возможности

Обращая взгляд в будущее, следует отметить, что новая стратегическая рамочная концепция ВПИК на период 2005–2015 гг. направлена на обеспечение анализа и прогноза изменчивости и изменения системы Земля для их использования в возрастающем диапазоне практических применений, имеющих непосредственную пользу и ценность для общества. Основное направление этой стратегической рамочной концепции связано с обеспечением интегрированного прогнозирования погоды, климата и в конечном итоге всей системы Земля. Существует много теоретических и практических причин для того, чтобы метеорологическое и климатическое сообщество придерживалось этого направления, принимая на вооружение целостный или комплексный подход к прогнозированию окружающей среды.

Для расширения рамок прогнозирования климата до прогнозирования окружающей среды необходимо признать, что климатическая система неразделимо связана и с биогеохимией Земли, и с деятельностью человека. Чтобы ВПИК достигнуть своих целей, связанных с пониманием и прогнозированием изменчивости и изменения климата и их воздействия на общество в целом, она должна и будет вносить вклад в исследования полностью интегрированной системы Земля.

Развитие комплексного подхода к прогнозированию погоды, климата, водных ресурсов и окружающей среды требует расширенного взгляда на систему Земля, выходящего за рамки традиционных дисциплин атмосферной науки. Развитие прогнозирования климата и в конечном итоге прогнозирования окружающей среды не является механическим расширением численного прогнозирования погоды.

Например, к числу научных дисциплин, которые нужны для поддержки прогнозирования погоды, климата и окружающей среды в различных временных масштабах, относятся метеорология, химия атмосферы, гидрология, океанография и морские и наземные экосистемы.

В то время как при прогнозировании текущего состояния атмосферы и сверхкраткосрочном прогнозировании погоды основные проблемы связаны с начальными значениями, при краткосрочном и среднесрочном прогнозировании погоды и при подготовке прогнозов с расширенным сроком действия появляются проблемы, связанные с сопряжением наземных процессов, ролью обратной связи влажности почвы и других процессов, отражающих взаимосвязь между атмосферой и земной поверхностью. Долгосрочное прогнозирование погоды и сезонное прогнозирование климата предполагают сопряжение системы атмосфера–океан с начальными условиями, присущими верхнему слою океана, что ведет к повышению уровня оправдываемости прогнозов, выпущенных с большей заблаговременностью.

Прогнозирование в масштабе десятилетия определяется как начальными значениями, так и воздействием пограничных значений. В этом временном масштабе определяющую роль играет информация о глубоководных слоях океана и изменениях в радиационном воздействии, связанном с парниковыми газами и аэрозолями. При рассмотрении проекций климата в междесятилетнем масштабе и на столетие следует учитывать не только будущие концентрации парниковых газов, но также изменения в земном покрове/динамическом растительном покрове и секвестрации углерода, регулируемые как морскими, так и наземными экосистемами. Кроме того, по конкретным регионам требуется прогностическая информация для таких параметров окружающей среды, как качество воздуха и воды во всех временных масштабах.

Одна из основных задач ВПИК заключается в том, чтобы определить пределы предсказуемости в масштабе десятилетия. В рамках концепции комплексного набора прогнозов прогнозирование в масштабе десятилетия устраняет разрыв между сезонно-межгодовым прогнозированием изменчивости и изменения климата

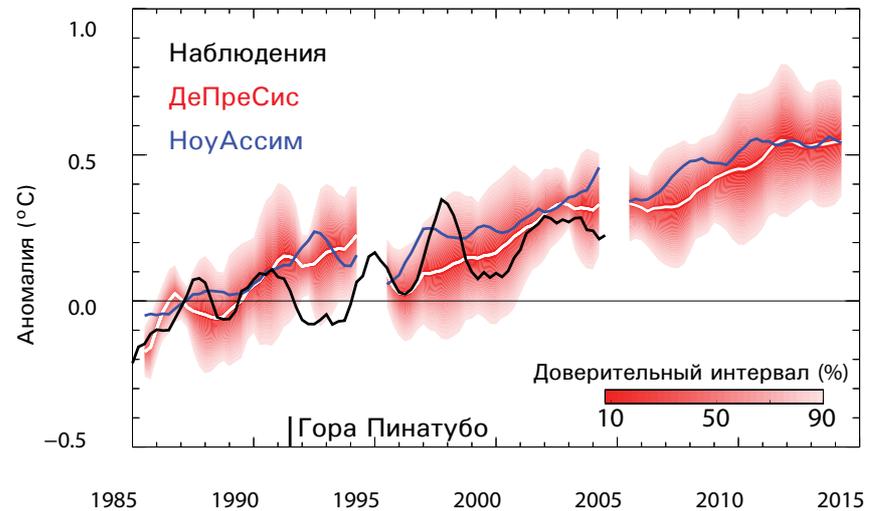


Рисунок 5 – Глобальный средний прогноз среднегодовой аномалии температуры поверхности Земли (1979–2001 гг.), получаемый с помощью системы десятилетнего прогнозирования (ДеПреСис), начиная с июня 2005 г. Доверительный интервал (заштриховано красным цветом) устанавливается на основе стандартного отклонения среднего значения ансамбля ДеПреСис (белая кривая). Голубой кривой показан эквивалентный прогноз без инициализации с использованием наблюдений. Черной кривой показаны ретроспективные прогнозы начиная с июня 1985 г. в сочетании с наблюдениями. Источник: Smith et al. (2008, Science 317).

и проекциями изменения климата, вызванного внешним воздействием, на очень продолжительные периоды, например столетие. Сообщество, занимающееся изучением изменения климата, обычно сконцентрировано на проблеме оценки антропогенного изменения климата в масштабе столетия. Для этого сообщества получение точных начальных условий не является предметом основной озабоченности, так как их предсказуемость в масштабе столетия считается низкой.

В отличие от этого, несмотря на то, что сообщество, занимающееся численным прогнозированием погоды и сезонными прогнозами климата, имеет в своем распоряжении хорошо разработанные схемы усвоения данных, в модели не включены многие процессы в криосфере и биохимические процессы, которые в масштабе столетий считаются важными. Сосредоточенность обеих групп на прогнозировании в масштабе десятилетия может ускорить развитие схем усвоения данных в моделях системы Земля и использование моделей системы Земля для более краткосрочного прогнозирования, например сезонного. В частности, сезонные прогнозы можно использовать для калибровки вероятностных проекций изменения климата в системе интегрированного прогнозирования. Таким образом, имеется общее основание, на котором может базироваться сотрудничество двух сообществ, для развития интегрированного прогнозирования.

В последние 20 лет связующим звеном между усилиями ВПИК в области наблюдений и в области моделирования является реанализ атмосферных данных, который значительно улучшил возможности анализа изменчивости климата, наблюдавшейся в прошлом. Третья Международная конференция ВПИК по реанализу состоялась в Токио в период с 28 января по 1 февраля 2008 г., чтобы продемонстрировать достижения в результатах реанализа и научных исследованиях и обсудить будущие цели и разработки. Ряд климатических данных складывается из результатов анализа наблюдений, выполненных для других целей, таких как метеорологическое прогнозирование состояния атмосферы или базовые океанографические исследования. В настоящее время признано, что понять глобальный климат можно только посредством обеспечения качественных наблюдений за климатом, выполненных в атмосфере, океане и на поверхности суши, включая криосферу.

Одним из следствий прошлой практики является то, что ряд климатических данных часто показывает отклонения, которые скрывают долгосрочные колебания климата. Многие комплекты климатических данных не являются однородными: либо длина ряда слишком коротка, чтобы обеспечить информацию в масштабе десятилетия, либо данные ряда не согласуются между собой в связи с изменениями в условиях производства наблюдений и отсутствием соответствующих метаданных.

Таким образом, основные усилия были необходимы для обеспечения однородности наблюдаемых данных, чтобы они были полезны для климатических целей. Реанализ данных атмосферных наблюдений с использованием единой современной модели усвоения данных оказал большую помощь в том, чтобы сделать ряды исторических наблюдений более однородными и пригодными для многих типов исследований. Действительно, за 20 лет после того, как впервые был предложен реанализ, достигнуты большие успехи в отношении возможностей получения высококачественных, однородных во времени оценок прошлого климата. ВПИК и ГСНК играли ведущую роль в поддержке базовых исследований и наблюдений, необходимых для реанализа. Учитывая текущее развитие анализа и реанализа данных об океане, суше и морском льде, можно говорить об огромном потенциале для дальнейшего прогресса и совершенствования знаний в отношении рядов данных о прошлом климате.

По результатам конференции было очевидно, что предстоит выполнить большой объем работы для решения стоящих проблем в области реанализа, особенно вопросов, связанных с изменением базы для получения данных наблюдений. Эти проблемы оказывают неблагоприятное влияние на изменчивость в масштабе десятилетия и более долгосрочном масштабе, что ограничивает применение реанализа в настоящее время. Более того, несмотря на то, что реанализ начинался с данных о климате атмосферы и погоде, проводилось немало исследований, связанных с реанализом (или синтезом) данных об океане. В связи с ограниченным размером комплектов исторических данных об океане возникла необходимость разрабатывать новые методики для повышения однородности результатов реанализа этих данных. Другие перспективные разработки ведутся в области реанализа данных о морском льде, Арктике и поверхности суши. Ведутся первоначальные разработки систем сопряженного усвоения данных об океане и атмосфере, которые заложат основу для будущих исследований в области сопряженного реанализа, что может привести к более согласованному отображению энергетического и водного циклов. Задача состоит в том, чтобы улучшить оценки неопределенности в продукции реанализа.

Реанализ глобальной атмосферы позволяет получить высококачественные и согласованные оценки

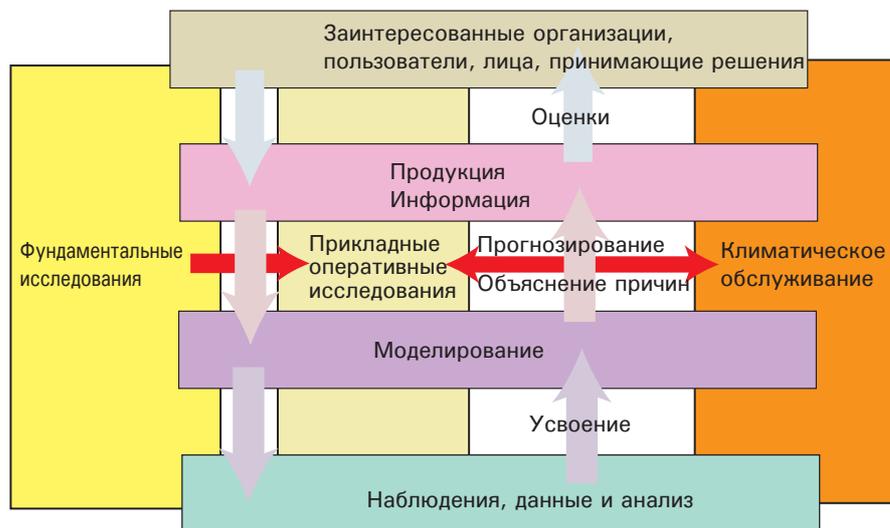


Рисунок 6 – Концептуальная структура для климатической информационной системы, которая начинается с наблюдений, исследований и анализа, а в качестве результата позволяет получать информацию, необходимую для лиц, принимающих решения. Решения, касающиеся приоритетов и координации между компонентами системы, принимаются на основании потребности в научном понимании в сочетании с типом климатической информации, необходимой для лиц, принимающих решения. Источник: Trenberth (2008), Бюллетень ВМО 57(1), январь 2008 г., с небольшими изменениями, внесенными Г. Асраром

краткосрочных колебаний состояния атмосферы или колебаний синоптического масштаба, но изменчивость в более долгосрочных масштабах (особенно в масштабе десятилетия) отображается современными методами реанализа не так хорошо. Основные причины этого недостатка связаны с качеством и степенью однородности базовых комплектов данных, которые формируют ряды климатических данных и оказывают влияние на системы усвоения данных, используемые для осуществления реанализа. Однако исследования, касающиеся коррекции смещения и усовершенствованных методов реанализа, дают надежды и говорят о необходимости дальнейших усилий в этой области. В будущем будет важно, чтобы проведение глобального реанализа координировалось и, по возможности, регулировалось для обеспечения такого положения дел, при котором базовый ряд климатических данных улучшается перед каждым реанализом с тем, чтобы было время проанализировать результаты усилий, предпринятых в прошлом, и извлечь соответствующие уроки. Дальнейшее совершенствование реанализа, включая его расширение с целью охватить основные микропримеси, океан, сушу и морской лед, вселяют надежду на то, что его использование в изучении изменения климата, в научных исследованиях и применениях получит более широкое распространение.

Другая задача, стоящая перед сообществом, занимающимся изучением климата, заключается в предоставлении климатической информации на региональном уровне, которая нужна инвесторам, крупным бизнесменам, руководителям, ответственным за использование природных ресурсов, и политикам, чтобы оказать помощь в подготовке к неблагоприятным воздействиям потенциального изменения климата на отрасли промышленности, сообщества, экосистемы и целые народы (рис. 6). Несмотря на то, что глобальные средние показатели температуры, количества осадков и повышения уровня моря удобны для слежения за изменением глобального климата, многие секторы общества нуждаются в более практически применимой информации для мелких пространственных масштабов. Рост уверенности в том, что причина изменения климата в глобальном масштабе связана с вызванными деятельностью человека выбросами парниковых газов, и ожидание того, что такие изменения в будущем возрастут, привели к росту потребности в прогнозах изменения регионального климата для руководства действиями по адаптации. Несмотря на то, что существует определенная степень уверенности в крупномасштабных режимах изменений в отношении некоторых параметров, уровень успешности региональных прогнозов ограничен и тяжело поддается оценке, учитывая, что данные для набора различных типов климата, по

которым можно тестировать модели, отсутствуют.

Проводится много исследований для улучшения прогнозов, основанных на моделях, но прогресс, вероятно, будет медленным. Вместе с тем ВПИК признает, что правительства и деловые круги сталкиваются с необходимостью принимать решения сегодня и сегодня испытывают потребность в наилучшей имеющейся информации по климату. Несмотря на ограничения, модели климата обеспечивают наиболее перспективные средства для предоставления информации по изменению климата, и ВПИК содействует тому, чтобы данные, полученные на основании климатических предсказаний, предоставлялись руководству для принятия решений при условии, что ограничения таких предсказаний разъяснены. К этим средствам относится предоставление оценок, характеризующих способность используемых моделей прогнозировать текущий климат и серии прогнозов, полученных в результате использования максимально возможного количества моделей.

В этой связи ВПИК приступила к разработке схемы для оценки методов уменьшения масштаба региональных климатических моделей (РСД) с целью использования при уменьшении масштаба проекций глобального климата (Giorgi et al., 2009). Такая схема концептуально должна быть похожа на схему успешного взаимного сравнения сопряженных моделей, которые проводит РГСМ, и должна в количественной форме определить эффективность методов моделирования регионально-го климата и оценить их соответствующие достоинства. Предусматривается осуществление скоординированных на международном уровне мероприятий по разработке усовершенствованных методов уменьшения масштаба с целью обеспечения обратной связи с сообществом, занимающимся моделированием глобального климата. Конкретная цель будет заключаться в том, чтобы на основе методов РСД и использования нескольких моделей подготовить по регионам мира климатическую информацию с высоким разрешением для использования в работе по оценке последствий/адаптации в Пятом докладе об оценках (ДО5). Это будет способствовать развитию более эффективного взаимодействия между разработчиками климатических моделей, которые получают информацию посредством уменьшения масштаба, и конечными пользователями, что приведет к оказанию более качественной

поддержки деятельности по оценке последствий/адаптации и более качественному доведению информации о научной неопределенности, присущей климатическим прогнозам и климатической информации. Важный аспект этой деятельности будет заключаться в более активном участии в ней ученых из развивающихся стран.

В последующие несколько лет ВПИК будет продолжать играть ведущую научную роль в крупных международных работах по оценке климата. В настоящее время для поддержки ДО5 МГЭИК под руководством РГСМ ВПИК разрабатывается пятый этап ПССМ (ПССМ5). Главная задача новой серии климатических моделей, которые будут задействованы в ПССМ5, заключается в разрешении вопросов, касающихся изменений регионального климата в следующие несколько десятилетий, к которым человеческому обществу придется адаптироваться, и в количественной оценке величины обратных связей в климатической системе, например обратной связи углеродного цикла.

Научное сообщество сформулировало предлагаемые в рамках ПССМ5 скоординированные эксперименты для решения основных научных воп-

росов. Так как эти эксперименты будут основным направлением деятельности международного сообщества, занимающегося моделированием изменения климата, их результаты правомочно использовать для оценок ДО5. Новая серия экспериментов с сопряженными моделями основана на использовании двух классов моделей для рассмотрения двух временных масштабов и двух комплектов научных вопросов. Для более долгосрочных проекций (до 2100 г. и на последующий период) (рис. 7), а также в качестве расширения предыдущих экспериментов по моделированию, проводимых РГСМ в поддержку МГЭИК, сопряженные климатические модели с промежуточным разрешением (~ 200 км) будут включать углеродный цикл, определенные/обычные химические параметры и аэрозоли, обусловленные воздействием новых сценариев смягчения последствий (именуемых «пути распространения репрезентативных концентраций»). Научные вопросы, предлагаемые для решения, касаются величины обратных связей в климатической системе. Будут использоваться сценарии смягчения последствий и адаптации с допустимыми уровнями выбросов (вместо предыдущих сценариев, разработанных в Специальном

Эксперименты по долгосрочному прогнозированию в рамках ПССМ5
Рисунок из материалов совещания РГСМ, сентябрь 2008 г.

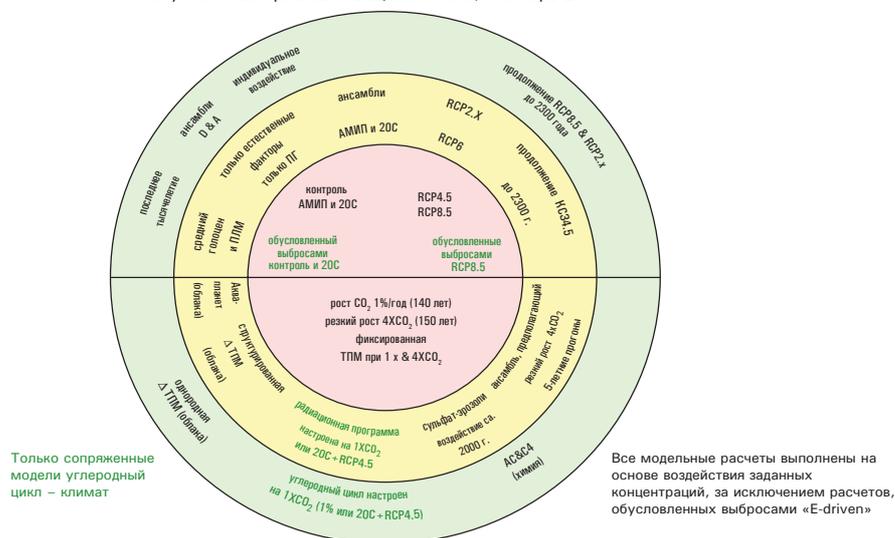


Рисунок 7 – ВПИК и Международная программа биосфера–геосфера имеют общие знания и опыт для ускорения развития моделей климата и, соответственно, для совершенствования возможностей в области прогнозирования. Будущая деятельность по моделированию климата включает серию экспериментов, в рамках которых «сравниваются существующие климатические модели, оцениваются их сильные и слабые стороны и улучшается моделирование климата при использовании определенного набора сценариев выбросов. Посредством включения глобального углеродного цикла осуществляется проверка более сложных моделей системы Земля на предмет их реагирования на различные воздействия. В рамках ВПИК работу по разработке сопряженных моделей океан–атмосфера–суша, которые используются для исследования климата в более долгосрочных временных масштабах, возглавляет Рабочая группа по сопряженному моделированию. Источник: Taylor et al. (2008)

докладе МГЭИК о сценариях выбросов), которые позволят системе достичь плановых цифр по стабилизации концентрации. Новые сценарии предполагают осуществление политических действий для установления будущих контрольных уровней изменения климата. Так как мы можем решить только часть проблемы, связанной с изменением климата, а к оставшейся части проблемы придется адаптироваться, то задача состоит в том, чтобы использовать климатические модели для определения в количественной форме развивающихся во времени изменений регионального климата, к которым людям придется адаптироваться.

Новое направление деятельности ПССМ5 связано с подготовкой краткосрочных проекций, включающих исследования в области прогнозирования на 10- и 30-летний периоды и эксперименты с использованием моделей с высоким разрешением для определенных промежутков времени, которые обобщены в работе Taylor et al., 2008. Исследования в рамках ВПИК показали, что имеются неплохие перспективы для выпуска достаточно точных десятилетних прогнозов, которые могут использовать специалисты по планированию и лица, принимающие решения, и которые представляют значительный научный интерес. Замысел экспериментов ПССМ5 предоставляет возможности координации исследований на международном уровне и экспериментирования в этой области.

Проблема десятилетнего прогнозирования имеет два аспекта: сигнал, вызванный внешним воздействием (парниковые газы и аэрозоли, вулканы, солнечная энергия и т.д.), и поддающаяся прогнозированию часть сигнала, имеющая внутреннее происхождение, связанная с присущими океану механизмами, сопряженными процессами океан-атмосфера, модуляцией климатических режимов изменчивости (например, Эль-Ниньо/Южное колебание) и потенциально с процессами на суше и в криосфере. До сегодняшнего дня в проекциях климата внутренняя изменчивость рассматривалась в основном как статистический компонент неопределенности. Хотя выраженного десятилетнего пика в спектре климатической системы не существует, длительные временные масштабы существуют, и прогнозирование в этих масштабах потенциально возможно. Задача исследований, касающихся предсказания/предсказуемости заключается в определении механизмов,

связанных с регионами/режимами предсказуемости для лучшего понимания связи между океаническими режимами и изменчивостью климата суши в изучении успешности предсказания с помощью прогностических (включая мультимодельные) десятилетних предсказаний.

Результаты исследований предсказуемости и демонстрация успешности прогнозов дают основания для инициирования скоординированного исследования предсказания/предсказуемости на десятилетие под эгидой ВПИК. Имеются широкие научные возможности для улучшения и расширения моделей с целью анализа изменчивости и режимов изменчивости. Будущие задачи включают необходимость разработки улучшенных методов анализа (особенно для параметров океана) и для инициализации, проверки адекватности и развития моделей, а также для создания ансамбля и использования мультимодельных ансамблей с целью прогнозирования в масштабе десятилетий.

Помимо оказания поддержки процессу оценок МГЭИК, ВПИК будет продолжать оказывать поддержку оценке состояния озонового слоя, которую раз в четыре года готовят ВМО и ЮНЕП. Деятельность СПАРК по валидации моделей химия-климат (ХКМВал) представляет собой основанный на использовании моделей фундаментальный анализ по определению связи между атмосферной химией и климатом. ХКМВал с помощью моделирования оказывает стратегическую поддержку процессу оценки озонового слоя, санкционированному Монреальским протоколом. Озон является основным компонентом в радиационных процессах и подвергается воздействию динамики и переноса. Только используя ХКМ можно смоделировать воздействие обратной связи химических процессов на динамику и перенос малых газовых примесей.

Под руководством СПАРК (ВПИК) моделирование с использованием ХКМ будет осуществляться в качестве крупного вклада в подготовку Научной оценки ВМО/ЮНЕП истощения озонового слоя: 2010 г. Основной акцент будет сделан на валидации моделей путем сравнения их выходных данных с данными наблюдений, а также на оценке развития стратосферного озонового слоя. В настоящее время ожидается, что восстановление озонового слоя будет наблюдаться до середины столетия (WMO, 2007; Eyring et al., 2007), когда содержание озона

в вертикальном профиле атмосферы достигнет в южных полярных широтах значений 1980 г. Это восстановление обуславливается, с одной стороны, уменьшением количества озоноразрушающих веществ, а с другой стороны, понижением стратосферных температур в связи с ростом концентрации в атмосфере парниковых газов, что оказывает воздействие на формирование облаков в полярной стратосфере и гетерогенное разрушение озона.

Важный вопрос заключается в том, как изменения содержания озоноразрушающих веществ в тропосфере преобразуются в изменения содержания активных озоноразрушающих химических веществ в стратосфере. При прогнозировании долгосрочного развития полярного озона необходимо внимательно рассмотреть динамические процессы, которые управляют аспектами переноса и динамики, связанными с образованием и сохранением вихрей. Влияние изменений в количестве и содержании стратосферного озона на климат Земли необходимо оценить, включая влияние, которое может быть оказано на состав тропосферы. Для исследования будущего развития стратосферного озонового слоя очень важно учесть взаимодействие радиации, динамики и химического состава атмосферы.

Таким образом, ВПИК сделала большой шаг вперед в развитии понимания сопряженной климатической системы во временных масштабах от сезона до столетий. В результате комплекса исследований в рамках ВПИК оперативное прогнозирование климата, соответствующая продукция и обслуживание стали реальностью. ВПИК играет важную роль в передаче посредством МГЭИК, Конференции Сторон РКИК ООН и ее Вспомогательного органа для консультирования по научным и техническим аспектам полученных в результате научной информации и знаний о климатической системе Земли для принятия политических решений. Более половины научно-технических данных, использованных в оценках МГЭИК, было предоставлено учеными, работающими под эгидой ВПИК. ВПИК предприняла скоординированные усилия для обеспечения во всем мире доступа к результатам своих исследований и подготовленным на основе моделей предсказаниям/проекциям с целью их использования учеными из развивающихся и наименее

развитых стран для оценки последствий потенциальной изменчивости и изменения климата в основных секторах экономики (например, продовольствие, водоснабжение, энергетика, здравоохранение) в своих странах или географических регионах.

Достижения и прогресс ВПИК стали возможными благодаря щедрой и постоянной поддержке ее спонсоров: ВМО, МСНС, МОК и их более чем 190 стран-членов. Все сообщество ВПИК выражает благодарность за эту спонсорскую помощь и поддержку и испытывает эмоциональный подъем в связи с предоставленными многочисленными возможностями, позволившими внести большой вклад в понимание причин и последствий изменения и изменчивости климата, оценить их воздействия на основные сектора мировой экономики и оказать содействие в использовании полученных знаний для управления связанными с этими изменениями рисками, с которыми сталкивается наше поколение, столкнутся наши дети и те, кто будет жить после них в этом веке и в последующее время.

В результате проделанной ВПИК работы было однозначно установлено, что система Земля испытает в последующие 50 лет реальное изменение климата, которое по масштабу превысит естественную климатическую изменчивость. Вопрос первостепенной важности, который стоит перед странами, заключается в том, как адаптироваться к этой неизбежности, связанной с изменчивостью и изменением климата в следующей половине столетия. Таким образом, необходимость справиться с изменчивостью климата и адаптироваться к изменению климата действительно является сложной проблемой для общества. В этой связи предстоящая Третья Всемирная климатическая конференция рассматривает, как комплексное климатическое обслуживание может наилучшим образом способствовать принятию обоснованных решений по адаптации.

Предоставление климатических наблюдений и обслуживания предполагает слаженное сочетание фундаментальных исследований, прикладных исследований, оперативной деятельности и применений, с одной стороны, и взаимодействия с сообществом пользователей – с другой. Однако до сегодняшнего дня

большая часть усилий была сконцентрирована на физической климатической системе и не ориентирована на выпуск продукции. Тем не менее воздействие климата и климатическое обслуживание затрагивают такие сектора, как коммерческая деятельность, финансы, сельское хозяйство, машиностроение, здравоохранение, общественный порядок, национальная безопасность и т.д. Чтобы удовлетворить потребности пользователей в климатическом обслуживании, лица, принимающие решения, призывают к тому, чтобы климатическая информационная система предоставляла поддержку для принятия политических, финансовых и инвестиционных решений. Такая система должна строиться на основе надежных климатических предсказаний во временных масштабах от сезона до десятилетия, специализированных прогнозов для регионов и населенных пунктов, интеграции данных об атмосфере, океане и суше и социальных данных в комплексную прогностическую модель «Система планеты Земля» и интерфейсов, поддерживающих принятие решений, которые могут быть отрегулированы для осуществления ориентированных на пользователя сценариев типа «если – то».

Осуществление климатической информационной системы потребует сопряжения моделей физической климатической системы, биохимического цикла и социально-экономических систем, синтеза разрозненных комплектов данных наблюдений в точке и спутниковых наблюдений, новых наземных и спутниковых систем датчиков, специально выделенной высокопроизводительной вычислительной инфраструктуры и программного обеспечения, и беспрецедентного уровня синергии между сообществом, занимающимся исследованием климата, подразделениями, обеспечивающими оперативное предоставление климатического обслуживания, и конечными пользователями. Во многом, как и в ситуации, сложившейся 60 лет назад при наступлении эпохи численного прогнозирования погоды, мы находимся в преддверии новой эпохи предоставления климатической информации и климатического обслуживания на основе научных исследований климата, направленных на совершенствование, расширение и уточнение нашего понимания и нашей способности прогнозировать состояние сопряженной климатической системы.

Литература:

- CHURCH, J.A., J.M. GREGORY, P. HUYBRECHTS, M. KUHN, K. LAMBECK, M.T. NHUAN, D. QIN and P.L. WOODWORTH, 2001: Changes in sea level. In: *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- EYRING, V., D.W. WAUGH, G.E. BODEKER, E. CORDERO, H. AKIYOSHI, J. AUSTIN, S.R. BEAGLEY, B. BOVILLE, P. BRAESICKE, C. BRÜHL, N. BUTCHART, M.P. CHIPPERFIELD, M. DAMERIS, R. DECKERT, M. DEUSHI, S.M. FRITH, R.R. GARCIA, A. GETTELMAN, M. GIORGETTA, D.E. KINNISON, E. MANCINI, E. MANZINI, D.R. MARSH, S. MATTHES, T. NAGASHIMA, P.A. NEWMAN, J.E. NIELSEN, S. PAWSON, G. PITARI, D.A. PLUMMER, E. ROZANOV, M. SCHRANER, J.F. SCINOCCHA, K. SEMENIUK, T.G. SHEPHERD, K. SHIBATA, B. STEIL, R. STOLARSKI, W. TIAN and M. YOSHIKI, 2007: Multimodel projections of stratospheric ozone in the 21st century, *J. Geophys. Res.*, 112, D16303, doi:10.1029/2006JD008332.
- GIORGI, F., C. JONES and G. ASRAR, 2009: Climate information needed at the regional level: addressing the challenge. *WMO Bulletin* 58 (3).
- TAYLOR, K.E., R.J. STOUFFER and G.A. MEEHL, 2008: A summary of the CMIP5 experiment design. http://www.clivar.org/organization/wgcm/references/Taylor_CMIP5.pdf
- TRENBERTH, K.E., T. KOIKE and K. ONOGI, 2008. Progress and prospects for reanalysis for weather and climate, *Eos*, 89, 234–235.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2007: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2006, Global Ozone Monitoring Project Report No. 50, Geneva, Switzerland, 572 pp.