
ПОСЛЕСЛОВИЕ

Материалы, изложенные в предметных главах этой книги, освещают очень разные участки широкого спектра областей наук о Земле и биологических наук. Поэтому заключительные замечания будут относиться не к собственно современному уровню развития этих областей науки, а к наличию необходимых данных и готовности соответствующих методов в комплексе служить основой ответственных прикладных оценок реакции природных и хозяйственных систем России на изменение климата.

Начнем с данных. Положение с системами мониторинга климата, разных компонентов климатической системы Земли и объектов воздействия изменений климата, которое было особенно сложным в России в 1990-е годы, начало сейчас в определенной степени исправляться.

Стабильно работает сеть гидрометеорологических станций Росгидромета. Предпринимаются серьезные меры по ее модернизации и переоснащению. Получаемые данные хранятся в архивах данных системы Росгидромета, а также передаются в международные базы. Эти данные — основа климатических обобщений.

Если говорить об объектах воздействия изменения климата в России, то данные о состоянии водных ресурсов, континентальной многолетней мерзлоты, горного оледенения и оледенения арктических островов, прибрежных морей и морского льда также в значительной степени систематизированы. Однако они не обязательно хранятся в государственных архивах данных, но часто — в базах данных национальных и международных программ и проектов. Это относится, например, к некоторым данным о многолетней мерзлоте и к данным по горному оледенению и оледенению арктических островов.

Данные о природных экосистемах и экстремальных явлениях — лесных пожарах, засухах и наводнениях — пока систематизированы и доступны в цифровом формате в меньшей степени.

В конце XX в. — начале XXI в. технология мониторинга окружающей среды и климата была отмечена пятью принципиальными инновациями, открывшими совершенно новые возможности в области наблюдений и анализа изменений. Первая из них — внедрение автоматических датчиков, что многократно повысило производительность систем контактных измерений. Вторая — разработка и широкое внедрение спутниковых методов дистанционных наблюдений за состоянием атмосферы и земной поверхности, что дало возможность получать в ходе мониторинга непрерывные образы полей физических величин и объектов, расположенных в атмосфере и на земной поверхности. Третья — появление высокоскоростных и высокопроизводительных каналов передачи данных от датчика к хранилищу данных. Четвертая — развитие электронных хранилищ, баз данных, обладающих значительной емкостью и эффективными средствами доступа. И, наконец, пятое — развитие сети Интернет, что обеспечило пользователям возможность доступа к единицам хранения электронных баз данных. Все вместе это многократно увеличило поток данных мониторинга и их пространственное и временное разрешение, а также дало возможность выполнять контроль качества данных и выделять сигнал на фоне шума с помощью современных компьютерных программных средств. Отметим, что новые технологические возможности пока используются в отношении далеко не всех наблюдаемых объектов воздействия изменения климата. Однако в отношении

некоторых — например, уровня моря и температуры поверхности моря — эти возможности уже сейчас используются в полной мере и дают впечатляющие результаты.

Различная принадлежность (в том числе, ведомственная) программ наблюдений, станций мониторинга и платформ для дистанционных наблюдений, хранилищ данных, а также групп, занимающихся первичной обработкой, проверкой качества и хранением данных, делает практически неосуществимой идею универсальной системы мониторинга климата и последствий его изменения как единого учреждения, единого центра. Подобные идеи были популярны в 1970—1980-е годы. Сейчас стало совершенно ясно (и это, в частности, следует из материалов этой книги, в том числе из зарубежного опыта), что такой центр может быть только распределенным, состоящим из многих частей, объединенных на координационном уровне. Гораздо важнее организационного единства представляется соблюдение некоторых единых принципов функционирования всех частей такого распределенного центра и их четкое взаимодействие. В отношении данных наблюдений (измерений) представляются существенными следующие аспекты:

- открытость сообщества “поставщиков” данных, т. е. возможность присоединения к обществу новых групп;

- прозрачность происхождения данных, т. е. наличие достоверных сведений о методах и системах измерения (наблюдения);

- контроль качества данных и наличие оценок их точности;

- депонирование данных в Интернете;

- свободный (бесплатный) доступ к данным, полученным в ходе деятельности, финансируемой с помощью федерального бюджета России;

- дружелюбность интерфейсов и общедоступность форматов данных, т. е. возможность использовать данные посредством обработки на обычной персональной компьютерной технике с широко распространенны-

ми операционными системами, а не только на мощных специальных ЭВМ.

Обеспечение осуществления этих принципов в отношении распределенной системы архивов (баз данных) о состоянии климата и объектов воздействия его изменений — первая основная задача органа, координирующего деятельность распределенного центра.

Перейдем теперь к процессу анализа данных мониторинга. Напомним, что если говорить об изменении климата и его воздействии на природные и хозяйственные системы (как физические, так и биологические), то основные задачи анализа данных наблюдений следующие:

- а)* выявить долговременные тенденции во временных рядах данных гидрометеорологических величин;

- б)* оценить антропогенную и естественную составляющие обнаруженных изменений;

- в)* выявить долговременные тенденции во временных рядах переменных, характеризующих состояние “приоритетных” (исходя из интересов человека) объектов воздействия изменения климата;

- г)* оценить климатогенную (т. е. обусловленную только изменением климата) составляющую обнаруженных изменений.

Что касается собственно выявления изменений (*detection*) — задачи *а)* и *в)*, — то задачи этого типа решаются с использованием традиционных статистических методов выделения трендов или некоторых их современных модификаций. Многие примеры успешного решения задач типа *в)* приведены в данной книге. ГИС-технологии и электронная картография существенно расширили возможности визуализации результатов такого анализа.

Необходимо особо отметить, что выявление тенденций по конечному отрезку временного ряда данных статистическими методами — процедура, результаты которой надо интерпретировать с учетом продолжительности отрезка времени, на котором анализируется процесс. Ведь классический анализ конечного ряда данных может не позволить отличить,

например, долговременный положительный линейный тренд от восходящей ветви колебательного процесса с большим периодом.

Задачи типа а) и в) обычно решаются на уровне научно-исследовательских проектов, когда группа исследователей, используя данные мониторинга (находящиеся в государственных или иных базах данных), проводит исследование тенденций избранными ими методами. Конечно, выбор метода анализа данных в рамках проекта — дело коллектива его исполнителей. Однако необходимо иметь в виду, что результаты анализа, полученные на основе даже одного и того же массива данных, но разными методами, будут несколько отличаться друг от друга. В пределах научного сообщества это встречает полное понимание и не вызывает недоразумений. Однако когда оценки изменений представляют более широким кругам включая лиц, разрабатывающих климатическую политику страны, и заинтересованную общественность, такие расхождения подчас вызывают критику. В связи с этим оценки изменений климата и климатогенных изменений природных и хозяйственных систем, выполняемые в широком смысле по запросу общества (правительственных органов, заинтересованных общественных организаций), должны основываться на унифицированных и аттестованных методах (это не должно касаться научно-исследовательских проектов, где разнообразие методов, напротив, следует лишь приветствовать).

Такая методическая работа по унификации и аттестации методов анализа наблюдаемых изменений климата и климатогенных изменений природных и хозяйственных систем — вторая основная задача органа, координирующего деятельность распределенного центра.

Что касается задач анализа данных б) и г) — “атрибуция”, установление причин изменений, — то соответствующие методы находятся сейчас на стадии научно-исследовательской разработки. В задачах типа г) используются эмпирические подходы, когда сопо-

ставляются “направления” изменения климата и какой-либо физической или биологической системы — объекта воздействия изменения климата. Однократного сопоставления, т. е. установления корреляции, для решения задачи недостаточно. Однако если во многих случаях интересующий исследователя параметр объекта воздействия меняется в том направлении, в котором он и должен был меняться под воздействием фактического изменения климата (т. е. в соответствии с теоретическими представлениями), то это уже можно принять за свидетельство климатогенности изменений наблюдаемого параметра.

В решении задач выявления и атрибуции изменений климата и природных систем, находящихся под влиянием этих изменений, велика роль математических моделей.

Во-первых, модели позволяют изучать изменение климата и природных систем в прошлом и настоящем путем вычисления значений интересующих исследователей параметров в разных условиях, при разных уровнях воздействия. Так, например, в 2007 г. в Четвертом оценочном докладе Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) опубликовала результаты расчета климата XX в. с учетом фактического увеличения концентраций парниковых газов в атмосфере и без учета изменения их концентраций. Сравнение результатов этих расчетов с фактическим климатом (в качестве маркера была использована среднегодовая среднеглобальная температура в приповерхностном слое) показало, что фактический ход температуры не удается объяснить без фактора изменения концентраций парниковых газов в атмосфере. Это — один из вариантов решения задачи атрибуции.

Во-вторых, математические модели часто являются единственным средством выявления изменений в случае нехватки данных. Например, пространственное распространение — ареал и изменение ареала в XX в. для переносчиков клещевого энцефалита — клещей *Ixodes ricinus* и *I. persulcatus* — весьма сложно оце-

нить по фактическим данным. Ведь вследствие ослабления санитарно-эпидемиологического надзора в 1990-е годы в нашей стране такие данные очень фрагментарны. В этой ситуации математическая модель, описывающая пригодность заданной географической точки для устойчивого обитания клеща исходя из климата, является эффективным средством описания ареала и его изменений. Изменения оцениваются исходя из отличий расчетных ареалов, соответствующих, скажем, климату последнего тридцатилетия и климату середины XX в. Конечно, это однофакторный подход, и возможное несоответствие расчетных и фактических изменений — сигнал для продолжения исследований с применением многофакторных средств анализа.

И, наконец, уникальна роль математических моделей в исследованиях будущих изменений климата и природных систем, находящихся под воздействием этих изменений. Благодаря интенсивным работам в области математического моделирования, за последние 20 лет появились десятки только глобальных климатических моделей — моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО). Существует также множество региональных и локальных моделей. Эти модели либо имеют специальные блоки, ответственные за описание изменения природных и хозяйственных систем вследствие изменения климата, либо их выходы (outputs) структурированы таким образом, что могут быть использованы в качестве входов (inputs) в модели, описывающие состояние природных и хозяйственных систем. Необходимо положительно отметить усилия мирового сообщества создателей моделей, направленные на обеспечение доступности результатов моделирования. Многие крупные мировые климатические центры выкладывают эти результаты в открытом доступе в сети Интернет, чтобы облегчить исследователям их использование в конкретных научных проектах. МГЭИК также внесла свой вклад в обеспечение доступности результатов моделирования будущих климатов — этим занимается

специальный Центр распространения данных (Data Distribution Centre).

Необходимо отметить, что сама возможность предсказания климата будущего с помощью математических моделей пока является предметом исследования. В метеорологии известен “предел предсказуемости” погоды — около двух недель. Прогноз погоды на существенно более длительные сроки с приемлемой с практической точки зрения точностью невозможен. Считается, однако, что долгосрочный прогноз климата — скажем, прогноз средней глобальной средней температуры июля в 2040—2070 гг. — возможен, причем он может быть получен путем многократного запуска нескольких “лучших” глобальных климатических моделей и последующего осреднения результата по ансамблю запусков и моделей. Необходимо подчеркнуть, что это — убеждение специалистов по моделированию климата и лишь гипотеза — для остальных исследователей. Здесь необходимы дальнейшие обоснования, а также более точное включение в модели естественных факторов изменчивости климата (например, солнечных). В то же время изучение будущего климата модельными средствами является единственно возможным, что подчеркивает важность метода математического моделирования вообще.

Когда в отношении вычисления климата будущего с помощью МОЦАО употребляется термин “прогноз”, то аналогия с прогнозом погоды может привести к некоторому недоразумению. Когда делается прогноз погоды, то он безусловный, не обремененный никакими ограничениями. А климат будущего зависит не только от естественных факторов (внешних и внутренних), действующих в климатической системе Земли, но и от антропогенных факторов, например, от изменения концентрации парниковых газов вследствие их выбросов мировым хозяйством. Ход выбросов в будущем неизвестен, и существует множество сценариев, отражающих разные варианты мирового экономического развития. И прогноз климата

делается отдельно для каждого из этих сценариев. Таким образом, для климата прогноз — условный, выполняемый для определенного сценария антропогенного воздействия на климатическую систему Земли. Чтобы отличать такой условный прогноз от классического, безусловного, в научной литературе был введен специальный термин — “проекция” (от англ. “projection”).

Конечно, в рамках исследовательских проектов используются самые разные сценарии антропогенного воздействия на климат и модели для вычисления климата будущего. Такое разнообразие естественно и плодотворно, поскольку в конечном счете обеспечивает прогресс в области построения сценариев и моделирования климата. Однако как и в случае с выявлением произошедших изменений климата и систем, на которых воздействует это изменение, в случае “общественного заказа” на оценку будущих изменений (для правительственных органов, для общественных организаций) необходима определенная унификация и аттестация сценариев и модельных средств. Иначе исходя из одних и тех же предпосылок можно получить разные результаты вследствие различия в сценариях и моделях, а это может быть неправильно воспринято широкими кругами пользователей.

Такая методическая работа по унификации и аттестации сценариев антропогенного воздействия на климатическую систему Земли и моделей для описания климата будущего и климатогенных изменений природных и хозяйственных систем — третья основная задача органа, координирующего деятельность распределенного центра.

В заключение кратко суммируем сказанное выше.

В обеспечении процесса оценки наблюдаемых и ожидаемых изменений климата и их последствий для физических и биологических систем (природных и хозяйственных) данными мониторинга и методами их анализа, а также модельными средствами к настоящему времени достигнут значительный прогресс.

Однако ответы на общественный запрос на такую оценку пока не могут получаться “рутинно”, с помощью стандартных процедур, т. е. на базе единых массивов данных мониторинга и с помощью типовых средств анализа и прогноза.

Такая работа во многих случаях выполняется пока на уровне целевых научно-исследовательских проектов (*ad hoc*), что может приводить к расхождению в результатах оценок, объяснимых и допустимых на уровне научного сообщества, но не в более широких кругах пользователей — правительственных органах и общественных организациях.

Для обеспечения процесса оценки наблюдаемых и ожидаемых изменений климата и их последствий необходимыми базами данных наблюдений и типовыми средствами анализа и прогноза нужна организация в стране распределенного климатического центра с координационным органом, который обеспечивал бы унификацию и аттестацию процесса ведения соответствующих баз данных наблюдений и унификацию и аттестацию средств анализа данных и прогноза изменений климата и их последствий.

С. М. Семенов

ДЛЯ ЗАМЕТОК

**МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА
ДЛЯ ФИЗИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

На первой странице обложки — Ледник Kuussuup Sermia, Южная Гренландия.
Фото Г. Э. Инсарова

Редактор *Т. В. Лешкевич*
Корректоры *В. В. Борисова, Е. Е. Смирнова*
Компьютерная верстка *И. В. Ломакиной*
Рисунки *А. И. Гавриченкова*

Подписано в печать 23.04.2012. Формат 60·90 1/8. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 63,75. Усл. кр.-отг. 63,75. Уч.-изд. л. 68,32. Тираж 300 экз. Индекс ММ-4

Набрано в ФГБУ “НИЦ “Планета”
123242, Москва, Б. Предтеченский пер., 7
Отпечатано ЗАО “Группа Море”,
101000, Москва, Хохловский пер., д. 7—9, стр. 3