

## ИНФОРМАЦИЯ

**К.Я. Кондратьев**

### **КОСМОС И ГЛОБАЛЬНАЯ ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА**

**(К итогам научного семинара, Париж, 22—23 июня 1990 г.  
и научной сессии КОСПАР, Гаага, 25 июня—5 июля 1990 г.)**

22—23 июня 1990 г. в Париже состоялся организованный по инициативе французского правительства международный семинар «Космос и окружающая среда», главной задачей которого было обсуждение перспектив осуществления международных и национальных программ с целью использования космических средств наблюдений для изучения глобальной окружающей среды и биосферы. В семинаре, проходившем под председательством руководителя Нац. центра космических исследований Ж.-Л. Лионса, принимали участие министр науки и технологий Х. Кюрьен и министр коммуникаций и космоса П. Килес. Аналогичная проблематика составила центральную часть научной программы конгресса КОСПАР, прошедшего в Гааге в период с 25 июня по 5 июля 1990 г. При всем многообразии проблематики космической экологии важнейшее место занимают в этой области по-прежнему исследования глобального климата и его изменений.

#### **1. Глобальный климат**

Богатую информацию о современном состоянии климата и его возможных изменениях в будущем содержит подготовленная 170 ведущими специалистами из 25 стран часть итогового доклада Межправительственного комитета по проблеме изменения климата (МКПИК) «Научная оценка изменений климата» [13], характерной особенностью которого является отказ от весьма широко распространенных за последние годы (не без участия массовых средств информации) представлений о том, что наблюдавшееся за последнее столетие повышение средней глобальной приземной температуры воздуха (ПТВ) в пределах 0,3—0,6°C и повышение уровня Мирового океана на 10—12 см обусловлено ростом концентрации углекислого газа и других «парниковых» газов (ПГ), в число которых входят прежде всего метан, хлор-фторуглеродные соединения (ХФУС) и закись азота. Возобладали взвешенный подход к проблеме и ясное понимание необходимости дальнейшего изучения природных и антропогенных факторов формирования климата, которое должно привести в будущем (на основе анализа данных наблюдений и численного моделирования) к достаточно надёжным оценкам роли климатообразующих факторов и, в частности, — обнаружению «парникового сигнала» по данным наблюдений (несомненно, что одних лишь сведений о ПТВ недостаточно: требуется обоснование оптимальной совокупности параметров, наиболее репрезентативно характеризующих «парниковый сигнал» [4, 10]).

Хотя наблюдавшийся уровень глобального потепления, в целом, согласуется с оценками на основе численного моделирования, этот уровень близок к природной изменчивости климата (внутренне обусловленным «шумам» климатической системы). Отсюда важно сделать вывод, что наблюдаемое потепление климата было обусловлено главным образом природной изменчивостью. Не исключено, что совместное воздействие природных и ряд других антропогенных факторов (помимо ПГ) вызвало ослабление (за счет соответствующей компенсации) более значительного по величине «парникового» потепления, распознавание которого по данным наблюдений нельзя считать вероятным в ближайшие 10 лет и больше.

Пока нет надёжных доказательств того, что изменчивость климата за последние несколько десятилетий усилилась. Весьма вероятно, однако, что по мере потепления климата эпизоды повышенной температуры станут в будущем более частыми, а пониженной — более редкими.

Несомненно, важное значение имеет влияние климата на экосистемы и обратное воздействие динамики экосистем на климат. Быстрые вариации климата вызовут изменения видового состава экосистем (для некоторых из них окажутся благоприятными, тогда как другие экосистемы погибнут, не оказавшись способными к адаптации). Рост концентрации CO<sub>2</sub> может повысить биопродуктивность и эффективность использования воды растениями. Воздействие потепления климата на экосистемы способно привести к усилению природных выбросов ПГ в атмосферу (это относится, например, к гидратам газов в вечной мерзлоте, которые могут поступать в атмосферу в условиях потепления климата и таяния вечной мерзлоты).

Доклад МКПИК констатирует, что результаты выполненных до сих пор расчетов позволяют сформулировать следующие достаточно надёжные выводы [13]:

1. Необходимо учитывать многокомпонентную природу парникового эффекта атмосферы. Относительный вклад углекислого газа в усиление парникового эффекта составлял около 50% и, по видимому, сохранится на таком же уровне в будущем. В результате потепления климата должно произойти увеличение концентрации главного ПГ — водяного пара, что будет способствовать усилению парникового эффекта (стоит подчеркнуть в этой связи, что роль динамики водяного пара в воздействии на парниковый эффект остается плохо изученной).

2. Концентрация долгоживущих ПГ ( $\text{CO}_2$ , закись азота, ХФУС) в атмосфере очень медленно реагирует на изменения их выбросов. Продолжение выбросов неизбежно повлечет за собой рост концентрации ПГ на протяжении десятилетий и столетий. Даже при полном прекращении выбросов процесс стабилизации приемлемого уровня концентрации ПГ займет длительное время (как известно, недавно принято межправительственное решение о полном прекращении выбросов ХФУС к 2000 г., гарантирующее защиту от опасных воздействий на слой озона).

3. Для стабилизации уровня концентрации долгоживущих ПГ на современном уровне необходимо немедленное сокращение выбросов по крайней мере на 60%. В случае метана сокращение должно составить 15–20%.

При сохранении выбросов ПГ на современном уровне следует ожидать скорости повышения ПТВ в 21 веке около  $0,3^\circ\text{C}/10$  лет (при неопределенности в пределах  $0,2–0,5^\circ\text{C}/10$  лет), которая превосходит темпы изменения климата, наблюдавшегося за последние 10 тыс. лет. Вероятный рост ПТВ (по сравнению с современным уровнем) достигнет  $1^\circ\text{C}$  к 2025 г. и  $3^\circ\text{C}$  к концу следующего столетия. Ввиду влияния других факторов формирования климата (кроме ПГ), потепление не будет, однако, равномерным. Если задать при расчетах возможной динамики ПТВ сценарии роста концентрации ПГ с учетом ограничений их выбросов в различных масштабах, то темп повышения ПТВ составит  $0,2^\circ\text{C}/10$  лет (сценарий В); несколько более  $0,1^\circ\text{C}/10$  лет (сценарий С) и около  $1^\circ\text{C}/10$  лет (сценарий Д).

Численное моделирование привело к естественному выводу, что поверхность суши будет прогреваться быстрее, чем поверхность океана, причем потепление в высоких широтах северного полушария зимой окажется более значительным, чем среднелобальное (реакция циркумполярной зоны антарктического океана оказывается практически нулевой вследствие «торможения» за счет глубинной циркуляции океана). Региональные изменения климата отличаются от среднелобальных, но достоверность расчетов в этом случае недостаточна. Так, например, потепление в Южной Европе и центральной части Северной Америки должно превзойти среднелобальное и будет сопровождаться уменьшением осадков и влажности почвы летом. Менее отчетливые результаты получились для тропиков и южного полушария.

Оценки, сделанные в предположении о сохранении современного уровня выбросов ПГ, показали, что средняя скорость роста высоты уровня Мирового океана составит в следующем столетии около  $6\text{ см}/10$  лет (при неопределенности в пределах  $3–10\text{ см}/10$  лет) и будет обусловлена главным образом термическим расширением водных масс и таянием континентальных льдов. Это означает подъем среднелобального уровня океана на 20 см к 2030 г. и на 65 см к концу 21-го века, причем должны наблюдаться значительные вариации в региональных масштабах.

Оценивая достоверность результатов численного моделирования климата, следует учитывать многообразие и еще не распознанные сложные взаимодействия процессов формирования климата. К числу недостаточно изученных климатообразующих факторов, требующих особого внимания, принадлежат: 1) динамика источников и стоков ПГ, определяющая их тренды и масштабы воздействия на климат (речь в данном случае идет прежде всего о фундаментальной проблеме глобальных биогеохимических круговоротов и в первую очередь — круговорота углерода; 2) облачность и ее взаимодействие с радиацией; 3) взаимодействие атмосферы и океана; 4) динамика криосферы (прежде всего полярных шапок).

Огромной важности проблему составляет дальнейшее совершенствование глобальной системы наблюдений климата, особенно ее спутникового компонента, на основе анализа информационного содержания различных данных, обоснования приоритетов и оптимизированной системы обычных и спутниковых наблюдений. Серьезных усилий требуют разработки с целью количественного обоснования требований к данным наблюдений параметров климата. Все эти и другие вопросы получили детальное освещение в рамках научной программы КОСПАР, посвященной глобальным изменениям. Специальная сессия была посвящена проблеме раннего обнаружения усиления парникового эффекта атмосферы и его воздействия на климат.

В двух докладах, сделанных по приглашению программного комитета, дан общий обзор проблемы обнаружения усиления парникового эффекта. Т. Барнетт и др. (США) обсудили возможности использования в качестве «парникового сигнала» (ПС) глобального массива аэрологических данных об удельной влажности и количестве облаков различных ярусов за 1973–1986 гг. Ориентиром для поиска регионов наиболее значительной изменчивости служили результаты вычислений с помощью модели Годдардовского института космических исследований, обусловленных непрерывным ростом концентрации  $\text{CO}_2$  изменений рассматриваемых параметров на уровне 850 гПа за 100 лет от первого к последнему десятилетию периода интегрирования. Расчеты обнаружили, например, существенное уменьшение количества слоистых облаков в полосе экватора при почти неизменном количестве общей облачности и рост количества перистых облаков.

Пространственная структура рассчитанной изменчивости влажности оказалась когерентной (самосогласованной) в тропической полосе, причем изменения влажности наиболее велики в «языке» холодного воздуха в тропиках Тихого океана, где данные обычных наблюдений отсутствуют (планируется поэтому предпринять совместный анализ результатов спутникового ПК и СВЧ зондирования при помощи аппаратуры HIRS/MSU, которые можно считать достаточно надежными в тропиках). Распознаванию ПС должно способствовать то обстоятельство, что предвычисленные изменения полей облачности и влажности достаточно значительны, а их природно обусловленная пространственная структура отличается от «парниковой».

В докладе К.Я. Кондратьева отмечено, что достаточно полный обзор выполненных ранее разработок по проблеме раннего обнаружения ПС содержится в его монографии [4]. Осуществленные позднее попытки распознавания ПС по данным наблюдений практически не дали результатов. Это относится, например, к спутниковым СВЧ данным о динамике протяженности морского ледяного покрова за почти 10-летний период, которые не выявили статистически существенного тренда. Соответствующие значения для Арктики, Антарктики и земного шара составили  $-1,9 \pm 1,3\%$ ;  $-0,3 \pm 1,4\%$  и  $-1,0 \pm 0,9\%$ . Аналогичные тренды площади полыней и разводий равны:  $-3,4 \pm 8,1\%$ ;  $-0,7 \pm 5,7\%$ ;  $-1,0 \pm 3,4\%$ .

Серьезным препятствием для распознавания ПС является недостаточная надежность «ориентиров», полученных на основе результатов численного моделирования, обусловленная уже упоминавшимся несовершенством параметризации облачности, взаимодействия облачности и радиации, а также взаимодействия океана и атмосферы. Пока что слишком короткими являются циклы наблюдений таких параметров, как протяженность снежного и ледяного покровов, компоненты радиационного баланса Земли, уровень Мирового океана, речной сток и др., что затрудняет выявление ПС. Несомненно актуальны поиски наиболее информативной комбинации параметров и самых чувствительных (к росту концентрации ПГ) регионов земного шара. Возможно, что серьезные перспективы связаны со слежением за динамикой биосферы, которая должна проявиться в «позеленении» земного шара в условиях «фертилизации», обусловленной ростом концентрации  $\text{CO}_2$ . Важную роль могут сыграть в этой связи данные о динамике биомассы континентального растительного покрова и морского фитопланктона. Следует надеяться, что осуществление запланированного в рамках программы Международного года космоса проекта по обоснованию подходов к обнаружению влияния усиливающегося парникового эффекта на климат ознаменует новый этап в решении проблемы ПС [6].

Д. Лондон и С. Уоррен (США) выполнили новый анализ наземных данных наблюдений динамики общего количества облаков и количества облаков различных типов над океанами в тропиках за 1952–1981 гг. Этот анализ привел к выводу об увеличении общего количества облаков в полосе  $20^\circ$  ю. ш. –  $20^\circ$  с. ш., которое сопровождалось ростом количества перистых и кучево-дождевых облаков, но уменьшением (или неизменностью) кучевой и слоистой облачности. Л. Стоув и др. (США) описали универсальный алгоритм восстановления КО по данным дневных и ночных спутниковых наблюдений при помощи сканирующей аппаратуры AVHRR, позволяющий распознавать условия ясного неба, частичной и сплошной облачности. Планируются испытания алгоритма путем его применения для оперативной обработки данных наблюдений. В. Буха (ЧФССР) привел данные о наличии корреляции между ПТВ (за период 1880–1980 гг.) и индексом геомагнитной активности. О. Кярнер (СССР) проанализировал (по данным спутника «Нимбус-7» за 8 лет) влияние различных факторов изменчивости радиационного баланса Земли.

А. Римоци-Паал и др. (Венгрия) обсудили на примере данных спутника «Нимбус-7» за период с мая 1979 по май 1980 г., относящихся к бассейну Карпат, возможности восстановления радиационного баланса подстилающей поверхности (РБП) и его компонентов, а также коротковолнового и длинноволнового радиационных балансов атмосферы (КРБА и ДРБА). Сопоставление этих данных с наземными данными для Будапешта позволило обосновать следующее эмпирическое корреляционное соотношение для РБП при ясном небе или сплошной облачности:

$$R = -9,5 + 0,44R_s + 0,55F_\infty, \quad (1)$$

где  $R_s$  – измеряемый радиационный баланс системы «подстилающая поверхность – атмосфера»;  $F_\infty$  – измеряемая уходящая длинноволновая радиация (УДР). Коэффициент корреляции составил 0,98. Учитывая, что

$$R_s = S_0(1 - \alpha_s) - F_\infty, \quad (2)$$

где  $S_0$  – внеатмосферная инсоляция;  $\alpha_s$  – альbedo системы, а также соотношение

$$R_s = R + R_a, \quad (3)$$

можно рассчитывать РБП с помощью соотношения (1), а РБА – по формуле (3). При этом относительная величина КРБА (поглощенной атмосферой солнечной радиации) определяется соотношением [15]:

$$R'_{a,s} = 1 - \alpha_s - \frac{G}{S_0} (1 - \alpha). \quad (4)$$

Здесь  $G$  – суммарная радиация, значения которой получены по данным актинометрических наблюдений на 6 станциях;  $\alpha$  – альbedo подстилающей поверхности, заимствованное из литературы. Зная определяемую формулой (4) относительную величину  $R_{a,s}$ , нетрудно вычислить абсолютное значение КРБА ( $R_{a,s}$ ) и затем найти ДРБА ( $R_{a,l}$ ) по соотношению

$$R_a = R_{a,s} + R_{a,l}. \quad (5)$$

Исходными спутниковыми данным для расчетов  $R_s$ ,  $R$ ,  $R_a$ ,  $R'_{a,s}$  и  $R_{a,l}$  служили среднесуточные значения  $F_{\infty}$ , и  $\alpha_s$ . Полученные результаты свидетельствуют о том, что  $R_s$  был отрицательным в течение всего года, составив в среднем за год  $-74,3 \text{ Вт/м}^2$ , тогда как по ранее полученным данным он был близок к нулю. Расчеты изменения РБЗ летом при увеличении концентрации  $\text{CO}_2$  с 330 до 430 млн<sup>-1</sup>, сделанные с использованием радиационно-конвективной модели, привели к выводу о росте суммарной радиации, РБП и УДР, но уменьшении альbedo системы и РБЗ. КРБА остался практически неизменным, а длинноволновое выхолаживание атмосферы усилилось. Таким образом, в рассматриваемых условиях при увеличении концентрации  $\text{CO}_2$  подстилающая поверхность получает больше тепла, тогда как атмосфера выхолаживается. Основной причиной изменений радиационного режима служит, по-видимому, уменьшение количества облаков при потеплении климата.

Х. Звалли (США), проанализировав данные радиовысотометрических наблюдений со спутников GROSAT, SEASAT, SALT (спутник ВМС США), выявил происшедшее за последние 10 лет утолщение южной части Гренландского ледяного щита на 0,23 м/год, которое происходило как в зонах аккумуляции, так и абляции, и должно быть следствием усиления осадков в полярных регионах при потеплении климата. Наличие положительного тренда баланса массы в пределах 20–40% должно быть связано с глобальным спадом уровня океана в пределах 0,2–0,4 мм/год (в зависимости от характерного временного масштаба рассматриваемых изменений). В условиях большей части Антарктики, содержащей 91% льда планеты, годовой прирост массы льда лишь на 10% превосходит наблюдаемый в Гренландии, и поэтому изменения толщины ледникового щита на порядок величины меньше. Важным средством слежения за динамикой полярных ледниковых щитов должна стать значительно более точная спутниковая лидарная высотометрия (в этом случае погрешность измерения высоты может быть снижена до 10 см), которая, по-видимому, станет практически осуществленной к 1992 г.

## II. Глобальные и региональные круговороты воды и энергии

П. Морель (Всемирная метеорологическая организация, Швейцария) представил обзор Глобального эксперимента по изучению круговоротов воды и энергии (GEWEX) как компонента ВИПК, содержащий известные сведения [4, 10]. Докладчик отметил, в частности, что принятая оценка допустимой погрешности спутниковых измерений радиационного баланса ( $10 \text{ Вт/м}^2$ ) исключает возможность выявления изменений, обусловленных интенсификацией парникового эффекта (порядка нескольких  $\text{Вт/м}^2$ ), но делает возможным распознавание аномалий (до  $50 \text{ Вт/м}^2$ ), порожденных Эль Ниньо. В связи с недавними выводами на основе численного моделирования климата с учетом взаимодействия атмосферы и океана (включая глубоководную циркуляцию) отмечена важная роль поступления пресных вод (речного стока) в формировании холодных и соленых вод на больших глубинах.

М. Шахин (США) описал 4 000-канальную аппаратуру ИК-зондирования атмосферы (AIRS), подготовленную для полярной платформы (полярноорбитального спутника системы EOS), и усовершенствованную СВЧ аппаратуру (AMSU), предназначенную для спутников NOAA. Совместная обработка ИК и СВЧ данных позволит достичь точности восстановления вертикального профиля температуры порядка 1°C при разрешении по высоте около 1 км. Одновременно будет получена информация о профилях относительной влажности, общем влагосодержании атмосферы, а также различные характеристики облаков, океана и поверхности суши.

М. Дебуа (Франция) проиллюстрировал возможность интерпретации данных спутника METEOSAT с целью прослеживания динамики поля влажности. Восстановление поля ветра по дрейфу облаков позволило, в частности, оценить конвергенцию влаги в нижней тропосфере и крупномасштабную адвекцию водяного пара. Вполне удовлетворительные результаты дало сравнение полей облачности и влагосодержания с полем вертикальной скорости на уровне 500 гПа поверхности. Приведен пример успешного использования рассматриваемых данных спутниковых наблюдений с целью проверки надежности результатов численного моделирования климата. И. Мика и др. (Венгрия) описали 16-уровневую одномерную нестационарную теплораспределительную модель изменений климата за счет вулканических извержений и роста концентрации  $\text{CO}_2$ . М. Хржановска и Л. Барански (Польша) описали эмпирическую методику восстановления суммарной радиации и фотосинтетически активной радиации по данным спутника METEOSAT о количестве облаков.

М. Холлингсворт (Великобритания) проанализировал информационное содержание современных данных дистанционного зондирования атмосферы, обратив внимание на, как правило, неприемлемо большие погрешности восстановления. Это в особенности относится к данным о поле ветра, восстановленного по динамике полей облачности или влажности. К той же проблеме привлек внимание Р. Гурней (Великобритания), подчеркнувший большую важность осуществления подспутниковых наблюдательных экспериментов на ключевых участках. П. Кабат (Нидерланды) коснулся сложной проблемы анализа комбинированных данных обычных и спутниковых наблюдений, обладающих различным пространственно-временным разрешением, при изучении взаимодействия атмосферы и биосферы. Э. Канемасу и др. (США), сделав общий обзор результатов полевых экспериментов FIFE-87, -89, обратили внимание на существование достаточно высокой корреляции потока  $\text{CO}_2$  между атмосферой и растительным покровом с отношением яркости в ближнем ИК и ИК-участках спектра.

П. Мартин (США) высказал общие соображения о влиянии динамики растительного покрова, проявляющейся в эмиссиях метана, терпенов и изопрена, на климат. Описана имитационная экологическая модель динамики леса, пригодная для условий Северной Америки, которая применена для оценки эволюции видового состава и фитомассы растительности за 500 лет при заданном изменении климата.

Д. Уоллас и др. (Великобритания) сообщили о результатах градиентных и прямых измерений потоков тепла и водяного пара в регионе Сахели, которые были использованы для обоснования методики восстановления испарения с учетом восстановленного значения температуры подстилающей поверхности.

Ж. Лагард и Э. Брунэ (Франция) предложили эмпирическую методику определения среднесуточных значений уходящей длинноволновой радиации по данным аппаратуры AVHRR о восстановленной температуре подстилающей поверхности в раннее послеполуденное время (входными параметрами являются также данные о минимальной ПТВ и длине дня). К. Отгле и др. (Франция, Финляндия) обосновали имитационную модель тепло- и водообмена в системе «почва—растительность—атмосфера», содержащую параметры, определяемые по данным спутникового ИК и СВЧ зондирования. Применение этой модели позволяет осуществлять восстановление влажности почвы или уровня водоснабжения в корневой зоне растительности в масштабах пространственной сетки гидрологической модели. Выполнен также успешный эксперимент по восстановлению эвапотранспирации.

Б. Пинти и др. (Франция, США) разработали методику восстановления углового распределения яркости подстилающей поверхности по спутниковым данным с учетом атмосферной коррекции и отфильтровывания вклада облачности. Предложена также теоретическая модель (приближение полубесконечного поглощающего и рассеивающего слоя), воспроизводящая наблюдаемое угловое распределение с учетом двух оптических параметров: альbedo однократного рассеяния и асимметрии индикатрисы рассеяния (стоит заметить, что подобный подход был давно реализован в СССР).

Вен Ганг и Фу Конгбин (КНР), обработав данные AVHRR, построили карты географического распределения нормированного вегетационного индекса (NDVI) для территории Китая, анализ которых позволил проследить изменчивость сезонной динамики растительного покрова, доминирующим фактором которой являются муссонные вариации. Применение методики главных компонентов для аппроксимации наблюдаемой изменчивости показало, что первый компонент описывает 94% суммарной изменчивости, а на долю второго приходится 1,4%. Г. Гутман (США) проанализировал факторы, осложняющие интерпретацию данных NDVI: влияние атмосферы, облачности и геометрии визирования, дрейф чувствительности аппаратуры, вариации параметров орбиты спутника. Корректная интерпретация данных возможна лишь при надежном учете всех перечисленных факторов. Д. Дункель и др. (Венгрия) изложили опыт использования данных Landsat для оценки водообеспеченности (водного стресса) растительного покрова и потока скрытого тепла в период вегетационного сезона в Венгрии. Поскольку важным параметром, задаваемым при оценках скрытого тепла, является эффективное устьичное сопротивление, проанализированы результаты измерения этой величины в посевах маиса, соевых бобов и картофеля. С. Никольсон и др. (США) изучили зависимость NDVI от различных параметров климата в ряде регионов Африки (Восточная Африка, Ботсвана, Сахель). Отмечено, в частности, наличие высокой корреляции между NDVI, осадками, влажностью почвы и эвапотранспирацией.

Важное значение для исследований глобальных и региональных круговоротов воды и энергии имеют работы по слежению за динамикой атмосферы и морского ледяного покрова по данным о движении облачности и льдов. Что касается восстановления поля вектора ветра путем регистрации дрейфа неоднородностей облачного покрова или распределения водяного пара, то это направление разработок уже имеет довольно длительную историю. Д. Шметц и К. Хольмлунд (ФРГ) подытожили опыт, достигнутый в оперативной обработке данных спутника METEOSAT, которая опирается на использование серий из трех последовательных ПК изображений с выделением около 2000 трассеров для восстановления вектора скорости ветра. В основу восстановления поля ветра (автоматизированная обработка указанных трех изображений дает около 700 значений скорости и направления ветра) положена методика пространственной когерентности. Использование облачных трассеров на различных высотах позволяет получать данные о ветре на трех уровнях. Непреодоленной трудностью остается привязка по высоте перистых облаков.

Х. Лорент и М. Дебуа (Франция) рассмотрели пример восстановления поля ветра с использованием методики кросскорреляции по данным METEOSAT-4 о движении неоднородностей горизонтального распределения водяного пара за 21 июля 1989 г. (обрабатывались пары последовательных

изображений). Для контроля надежности высотной привязки восстановленного поля ветра осуществлялось сравнение с данными аэрологических зондирований и численного прогноза погоды. Х. Войк (ФРГ) предпринял общий анализ данных о глобальных полях «облачного» ветра (SATOV), подчеркнув, что данные различных геостационарных спутников существенно расходятся. Сравнение с данными радиоветровых зондирований и численного моделирования показало, что в лучшем случае погрешности восстановленного ветра составляют 2–4 м/с. Учет данных SATOV в краткосрочном прогнозе выявил положительное воздействие на качество прогноза в тропиках и в южном полушарии, но в северном полушарии имели место случаи, когда качество прогноза даже ухудшалось.

Важной остается задача совершенствования методики восстановления поля ветра путем прослеживания дрейфа облаков. Т. Лачлан-Коуп и Д. Турнер (Великобритания) отметили, что в условиях Антарктики можно располагать регулярными данными спутников NOAA в форме серий из трех последовательных изображений облачного покрова, охватывающих промежутки времени около 200 мин. Наиболее существенная трудность обработки данных (особенно автоматизированной) состоит в идентификации облачных трассеров на фоне снежного покрова. Учитывая наличие серьезных погрешностей полей ветра, восстановленных по дрейфу облаков, что приобретает особенно важное значение в связи с серьезным прогрессом в совершенствовании численных методов прогноза, группа сотрудников Висконсинского университета (П. Мензел и др.) обсудила возможности использования данных дистанционного зондирования для более надежной высотной привязки полей ветра. Различные аспекты методики восстановления (это относится главным образом к репрезентативности восстановленного поля ветра) обсуждались в ряде других докладов.

Применяемые в настоящее время методики восстановления характеристик динамики ледяного покрова по данным радиолокационной съемки (результаты пассивной радиолокации не использовались ввиду их низкого пространственного разрешения) опираются на два подхода, состоящих в реализации методики кросскорреляции (как и при обработке данных по дрейфу облаков) или в прослеживании перемещения края ледяного покрова. Д. Ротрок и др. (США), обработав данные спутника SEASAT, пришли к выводу, что первая из упоминавшихся методик более удобна и надежна при наличии частичного ледяного покрова. Анализ результатов наблюдений (в сочетании с данными численного моделирования) позволяет получить информацию о таких характеристиках, как адвекция, баланс количества движения, деформация разводей и ледяного покрова вообще (торошение и др.), некоторые свойства ледяного покрова.

Создание станций приема спутниковой радиолокационной информации в Фербенксе (США), Оттаве (Канада) и Кируне (Швеция) открывает перспективы слежения за динамикой ледяного покрова во всем регионе Арктики. Аналогичная сеть из трех станций приема данных существует и в Антарктике. В докладе О. Иоханессена и Х. Флеше (Норвегия) рассмотрен пример обработки данных самолетной РЛС бокового обзора, относящихся к Баренцеву морю. Д. Марко и др. (США) обсудили опыт совместной интерпретации пар последовательных изображений, полученных при помощи РЛС БО и AVHRR, с использованием методики пространственной кросскорреляции.

Значительный интерес привлекла специализированная научная сессия, посвященная анализу информационного вклада данных спутникового дистанционного зондирования в прогнозы погоды. Пока что ситуация в этой области характеризуется, как уже отмечалось, наличием положительного вклада в качество численных прогнозов лишь в экваториальной полосе и в южном полушарии, где обычная метеорологическая информация фрагментарна. В связи с этим В. Смит (США) охарактеризовал возможности аппаратуры дистанционного зондирования, разработанной для спутников системы EOS. Основу этой аппаратуры составят ИК-интерферометр и спектрометр, которые позволят получить данные примерно для 6 и 5 тыс. каналов соответственно при очень высоком спектральном разрешении в пределах 1–10 км. Даже СВЧ-аппаратура дистанционного зондирования обеспечит разрешение около 15 км. Имитационные расчеты и самолетные испытания всего комплекса аппаратуры на высотных самолетах ER-2 и U-2 позволяют считать, что погрешности восстановления вертикального профиля температуры будут снижены до 1 К. А.Э. Макдональд (США) отметил, что особенно высокие требования к пространственно-временному разрешению предъявляют сверхкраткосрочные прогнозы погоды и это определяет в данном случае потребность комплексного использования обычной (особенно радиолокационной) и спутниковой информации. При прогнозе на 1 час компьютерная обработка данных большого объема (с 1985 по 1990 г. объем данных возрос в 20–30 раз) требует применения параллельных процессоров с производительностью порядка 8 млрд. операций/с. Компьютеры, которые должны появиться к 2000 г., позволят осуществлять глобальные численные прогнозы на сетке с шагом около 4 км и региональные прогнозы – 1,4 км.

Д. Мак Гинли (США) подчеркнул, что прогресс обычных и спутниковых средств метеорологических наблюдений, а также совершенствование средств обработки данных создадут беспрецедентные возможности детального учета мезомасштабных процессов при сверхкраткосрочном прогнозе погоды. Уже достигнутые в этой области практические усилия продемонстрированы на примере системы локального объективного анализа и прогноза, разработанной сотрудниками NOAA.

Д. Льюс (США) изложил опыт применения метода сопряженных уравнений и концепции функции ценности для мезомасштабного анализа и прогноза (заметим, что аналогичные разработки были впервые выполнены в СССР Г.И. Марчуком 15–20 лет тому назад). Х. Легло и др. (Франция) про-

демонстрировали плодотворность дополнительного учета данных AVHRR для распознавания облачности нижнего яруса над сушей и океаном, различения плотных облаков верхнего яруса и тонких холодных перистых облаков, а также снежного и облачного покровов при использовании данных спутников METEOSAT в сверхкраткосрочном прогнозе. Х. Аль Хафид и Р. Сингх (Ирак) обсудили методические особенности восстановления вертикального профиля влагосодержания и суммарного водосодержания атмосферы по данным СВЧ-радиометрии. В.Г. Шаров (Болгария) изложил результаты теоретических исследований вихрей Кармана и «облачных улиц», сопоставленные с данными спутниковых наблюдений.

Д. Паллео (Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды — ЕЦСПП, Великобритания) охарактеризовал накопленный в ЕЦСПП опыт использования оперативных данных спутникового термического зондирования (SATEM), подчеркнув, что прогнозы на срок более трех суток должны быть, по необходимости, глобальными. Ежесуточный глобальный массив данных SATEM содержит 5–6 тыс. наблюдений, что примерно на порядок величины превосходит объем аэрологической информации. Хотя, как и раньше, вклад спутниковых данных играет малозначительную роль в северном полушарии, существует все же прогресс, состоящий в радикальном уменьшении числа случаев с отрицательным воздействием (подобные случаи объясняются главным образом недостаточной надежным контролем качества данных). Для решения задачи минимизации погрешностей применен метод сопряженных уравнений. Главный вывод состоит в том, что в будущем схема восстановления должна стать органической частью объективного анализа. В этой связи Г. Келли (ЕЦ СПП) привлек внимание к тому, что все еще существующие серьезные недостатки алгоритмов восстановления порождают существенные погрешности данных спутникового термического и ветрового (по дрейфу облаков) зондирования. Неприемлемо большими оказались, например, систематические погрешности восстановления скорости ветра по данным японского геостационарного спутника HIMAWARI. Естественно, что информационный вклад данных о ветре (SATOВ) сказался особенно существенным в тропиках. Подчеркнута целесообразность непосредственного использования данных спутниковых спектрометрических наблюдений в прогностических схемах вместо осуществления промежуточного этапа решения задач восстановления профилей метеоэлементов. К такому же выводу пришел А. Лоренц (Великобритания).

Анализируя погрешности восстановления вертикального профиля влагосодержания атмосферы, И. Тахани и др. (Франция) показали очень важную роль надежного задания априорных данных. К. Клод и др. (Франция, США), применив разработанную сотрудниками лаборатории динамической метеорологии (Франция) усовершенствованную методику инициализации данных дистанционного зондирования, которая основана на методологии распознавания, продемонстрировали ее эффективность для анализа мезомасштабных процессов. В. Хекли (ЕЦ СПП) использовал данные спутника METEOSAT по облачному покрову для проверки надежности характеристик облачного покрова, вычисленных с применением прогностической схемы ЕЦ СПП.

### III. Процессы в средней атмосфере

Наблюдения состава средней атмосферы могут быть важным источником информации о происходящих глобальных изменениях, поскольку, как справедливо отметил Г. Брассер (США), химический состав атмосферы формируется в значительной степени под воздействием процессов в биосфере (в особенности это относится к содержанию парниковых газов в атмосфере). В этой связи Г. Брассер сделал обзор данных о пространственно-временной изменчивости концентрации таких МГК, как  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CFC}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , неметановых углеводородов, изопренов, терпенов и др., подчеркнув при этом важную роль, которую играет гидроксил как фактор, определяющий время жизни МГК в атмосфере, а также актуальность исследований газообмена между атмосферой и экосистемами.

Анализируя современные представления о формировании весеннего минимума общего содержания озона (ОСО) в Антарктике, М. Макэрой (США) обратил внимание на двойную роль, которую играют в этой связи полярные стратосферные облака (ПСО), состоящие первоначально из кристаллов тригидрата азотной кислоты. С одной стороны, химические реакции, протекающие на поверхности частиц ПСО, обеспечивают превращение соединений хлора и брома из химически неактивных форм в активные. С другой стороны, облака вносят существенный вклад в удаление азотной кислоты осадками. Разрушение озона как в антарктической, так и в арктической стратосфере происходит в результате каталитических газофазных реакций с участием  $\text{ClO}$  и  $\text{BrO}$ . Быстрому формированию минимума ОСО в Антарктике благоприятствует относительная изоляция (за счет устойчивой циркулярной циркуляции) и низкая температура стратосферы зимой и весной. Эффективным индикатором динамики стратосферы может служить потенциальный вихрь, значения которого максимальны внутри зоны минимума ОСО.

П. Маккормик (США) рассмотрел по данным спутника SAGE-2, который функционирует с 1984 г., межгодовую изменчивость полей концентрации озона и аэрозоля в стратосфере, обнаружив наличие высокой корреляции между динамикой ПСО, минимумом ОСО и квазидвухлетними колебаниями (КДК). После извержения вулкана Эль-Чичон происходил продолжительный и постепенный спад значения аэрозольной оптической толщины, которая достигла фонового уровня только к 1990 г. К. Лабитцке (Германия) привлекла внимание к трудности распознавания долговременных трендов,

связанной с многофакторной изменчивостью стратосферы. Преодоление этих трудностей необходимо, в частности, при изучении воздействия солнечной активности на поля температуры и давления в стратосфере. Надежное отфильтровывание вкладов КДК и Эль Ниньо. Южное колебание позволило установить наличие достаточно высокой корреляции между высотами 30 и 100 гПа уровней' и 10,7 см радиоизлучением Солнца как индексом солнечной активности. Аналогичная корреляция обнаружена и для температуры на уровне 30 гПа (отчетливый многолетний тренд температуры, однако, отсутствует). Той же проблеме воздействия солнечной активности на стратосферу посвятил свой доклад Х. Сиснерос (Испания), продемонстрировавший существование 11-летнего цикла в изменчивости ОСО. Д. Хит (США) проанализировал долговременную изменчивость ОСО по данным спутника «Нимбус-7» за 1978–1986 гг., показав, что долговременная изменчивость содержания озона в слоях выше уровня 2 и ниже 30 гПа не согласуется с рассчитанной на основе двухмерной модели, поскольку предполагаемая моделью зональная симметрия отсутствует.

#### IV. Динамика глобальной биосферы

Если исследования климата осуществляются преимущественно в рамках Всемирной программы исследований климата (ВПИК), то биосферная проблематика охватывается Международной биосферно-геосферной программой (МГБП) [3, 5, 17, 18] и соответствующими национальными программами. В СССР это Программа биосферных и экологических исследований [1, 2, 12], а в США — Программа изучения глобальных изменений, опирающаяся на Программу наблюдений Земли EOS и более широкую программу «Миссия к планете Земля» [16].

МГБП, вступившая с 10 сентября 1990 г. в стадию осуществления, предусматривает семь ключевых направлений разработок, обсужденных на Парижском семинаре председателем Специального комитета МГБП Д. Маккарти [14, 18]:

1. *Закономерности химических процессов в глобальной атмосфере и роль биологических процессов в круговоротах малых газовых компонентов.*

Разработки в рамках этого направления включают:

а. Международный проект по глобальной химии атмосферы (IGAC), предусматривающий:

– Изучение процессов, определяющих изменение химического состава атмосферы.  
– Исследования взаимодействий между химическим составом атмосферы, биосферными и климатическими процессами.

– Прогноз воздействий природных и антропогенных факторов на химический состав атмосферы.

б. Взаимодействия между стратосферой и тропосферой в контексте биосферных исследований (STIB).

В этом случае планируется:

– Проанализировать влияние изменений содержания озона в стратосфере на проникновение к земной поверхности биологически опасной УФ-радиации.

– Получить количественные оценки процессов взаимодействия стратосферы и тропосферы.

– Оценить влияние процессов в стратосфере на климат, на нее антропогенных факторов.

– Получить количественные оценки влияния аэрозоля на климат.

– Оценить влияние процессов в стратосфере на климат.

2. *Влияние биогеохимических процессов в океане на климат и обратное воздействие изменений климата на океан. Предусматриваются два проекта:*

а. Комплексные исследования глобального газообмена между океаном и атмосферой (JGOFS).

– Изучение в глобальных масштабах процессов, ответственных за динамику поступления потоков углерода и других сопутствующих биогенов в океан, а также оценки газообмена между атмосферой, морским дном и границами континентов.

– Разработка методик прогноза в глобальных масштабах реакции в океане на антропогенные возмущения, особенно связанные с изменением климата.

б. Изучение эвфотической зоны Мирового океана (GOEZO) с учетом взаимодействия физических, химических и биологических процессов.

3. *Влияние изменений в землепользовании на ресурсы прибрежных зон морей и океанов, а также воздействий изменений уровня океана и климата на прибрежные экосистемы.* Это направление будет реализовано через посредство проекта:

а. взаимодействие суши и океана в прибрежной зоне (LOICZ) с целью разработки методов прогноза влияния изменения климата, землепользования и уровня океана на функционирование и устойчивость прибрежных экосистем в глобальных масштабах с учетом приоритетного значения взаимодействий между изменяющимися условиями на суше и в океане и возможными обратными связями воздействий физических процессов в окружающей среде.

4. *Взаимодействие растительного покрова с физическими процессами, ответственными за формирование глобального круговорота воды.*

Биосферные аспекты круговорота воды (ВАНС) включают:



– Изучение воздействия биосферы на круговорот воды на основе полевых наблюдений с целью разработки моделей энерго- и влагообмена в системе «почва – растительный покров – атмосфера» при пространственно-временных масштабах от элементов растительного покрова до ячейки моделей общей циркуляции атмосферы.

– Разработку баз данных, которые могут быть использованы для характеристики взаимодействий между биосферой и физическими процессами в окружающей среде, а также для проверки надежности имитационных моделей подобных взаимодействий.

5. *Влияние глобальных изменений на континентальные экосистемы.*

а. Глобальные изменения и континентальные экосистемы (GCTE) предусматривают:

– Разработку методик прогноза воздействий изменений климата, концентрации CO<sub>2</sub> и землепользования на экосистемы, а также оценки последствий на формирование обратных связей между биосферой и окружающей средой.

б. Глобальные изменения и экологическое разнообразие (GCEC):

– Разработку методик прогноза соотношений между глобальными изменениями и биоразнообразием (экологической сложностью).

6. *Палеоэкологические и палеоклиматические изменения и их последствия.*

Глобальные изменения в прошлом (PAGES).

– Реконструкция детальной истории изменений климата и окружающей среды на всем земном шаре за период с 2000 г. до нашей эры при временном разрешении по крайней мере порядка 10 лет, но, желательно, – до одного года и сезона.

– Реконструкция истории изменений климата и окружающей среды в течение полного цикла оледенения с целью углубления понимания природных процессов, определяющих изменения климата.

7. *Системный подход к имитационному численному моделированию земной системы с целью прогноза ее эволюции в будущем.*

Анализ данных наблюдений и численное моделирование в глобальных масштабах (GAIM).

– Количественные оценки взаимодействия глобальных физических, химических и биологических интерактивных процессов в земной системе на протяжении последних 100 тыс. лет, имея в виду анализ возможных изменений в будущем.

Пять из шести перечисленных проектов (IGAC, JGOFs, VAHC, GCTE, PAGES), относящихся к категории одобренных ключевых проектов, сформулированы в достаточно конкретной форме. Осуществление двух из них (JGOFs, IGAC) уже началось, а три другие (VAHC, GCTE, PAGES) все еще находятся в стадии детальной разработки. То же самое относится к проектам STIB, LOICZ и GAIM.

В контексте МГБП представляет интерес обоснование приоритетов в американской программе «Глобальные изменения» [16], которая предусматривает определенную последовательность приоритетов (в порядке убывания):

1) Климатические и гидрологические системы: роль облаков; циркуляция океана и потоки тепла; взаимодействие суши, атмосферы и океана; энерго- и водообмен; количественные взаимосвязи в интерактивной климатической системе; взаимодействие океана и атмосферы, океана и криосферы.

2) Динамика биогеохимических процессов: обмен малыми газовыми компонентами (МГК) между биосферой, атмосферой и океаном; «переработка» МГК атмосферой; биохимия водных масс у поверхности и на больших глубинах; процессы в континентальной биосфере; круговороты углерода и биогеоенов; воздействие процессов на суше на морские экосистемы.

3) Экосистемы и их динамика: долговременные наблюдения структуры и функционирования экосистем; реакция экосистем на изменения климата и другие возмущающие воздействия; взаимодействия между физическими и биологическими процессами; модели взаимодействий, обратных связей и реакций экосистем на воздействия; модели продуктивности и ресурсов экосистем.

4) История земной системы: палеоклимат; палеоэкология; состав атмосферы, состав и циркуляция океана, продуктивность океана, изменения уровня океана, палеогидрология.

5) Социально-экономические аспекты: создание баз данных: разработка моделей, характеризующих взаимосвязи роста населения, потребностей производства энергии, землепользования и промышленного производства.

6) Геофизические процессы: прибрежная эрозия, вулканические процессы, вечная мерзлота и морские гидраты газов, потоки тепла и энергии на уровне дна океана, динамика уровня океана, морские тектонические процессы.

7) Воздействия солнечной активности: наблюдения вариаций внеатмосферной УФ солнечной радиации, взаимодействие солнечной радиации и атмосферы, спектральная и интегральная солнечная постоянная, влияние на климат, косвенные индикаторы воздействия солнечной активности на окружающую среду, создание долговременной базы данных.

Следует отметить, что концептуальные аспекты программы США проработаны глубже, чем это сделано в современной версии МГБП [3–6], но обоснование приоритетов требует дальнейших усилий. Несомненно, например, что проблемы динамики экосистем и глобальных биогеохимических круговоротов являются первичными по отношению к климатическим и гидрологическим процессам [1, 2, 7]. Первичным является, скажем, тот факт, что рост концентрации парниковых газов влияет на климат, а не наоборот, хотя бесспорна интерактивность всей совокупности процессов. Первостепенное

значение имеет проблема обработки, архивации и распространения данных наблюдений беспрецедентного объема, решению которой придается в США важное значение. Естественно, что ключевую роль в глобальной системе будут играть спутниковые средства наблюдений. Крайне неблагоприятным является в этой связи то обстоятельство, что до сих пор отсутствуют согласованные на международном уровне соглашения по обмену данными. Спутниковые наблюдения должны сочетаться с комплексными обычными наблюдениями на репрезентативных полигонах (ключевых участках), расположенных на суше и в океане. Хотя МГБП содержит некоторые рекомендации по этому вопросу, критерии выбора ключевых участков остаются, как правило, интуитивными и качественными. Почти не предпринималось пока что попыток обоснования их выбора на основе анализа данных имитационного численного моделирования. Исключение составляет лишь разработанная в СССР концепция энергоактивных зон [9–11].

В рамках программы КОСПАР серьезнее внимание привлекла проблема крупномасштабного взаимодействия между биологическими и физическими процессами в океане и на границе океан–атмосфера. Обсуждая проблему глобального круговорота углерода, В. Наттл и др. (США) подчеркнули большую роль океана как резервуара углерода в биосфере, что определяет актуальность исследования обмена  $\text{CO}_2$  между атмосферой и океаном, функционирующим как биологический «насос», отсасывающий  $\text{CO}_2$  из атмосферы. Для понимания функционирования этого насоса необходимы гораздо более полные данные о динамике первичной продуктивности. В этой связи обсуждены возможности восстановления содержания фитопланктона по данным спутника «Нимбус-7» для Атлантического океана и применения эмпирической методики оценки первичной продуктивности по этим данным. Одна из трудностей решения этой задачи связана с тем, что дистанционное зондирование позволяет восстановить содержание фитопланктона лишь в верхней части (около 20%) эвфотической зоны. Кратко описана содержательная модель морской экосистемы с учетом поступления биогенов, динамики фито- и зоопланктона, циркуляции океана и других факторов.

Л. Мервилат и др. (Франция) выполнили расчеты обмена  $\text{CO}_2$  между атмосферой и океаном по данным о разности концентраций  $\text{CO}_2$  в атмосфере и океане с учетом коэффициента обмена  $A$ , полученного с использованием данных о приводном ветре, восстановленном по спутниковым скаттерометрическим и СВЧ-наблюдениям. Выявлено наличие пространственно-временной изменчивости  $D$  разности концентраций  $\text{CO}_2$  и, следовательно, потока  $\text{CO}_2$ , что определяет актуальность упомянутой выше программы JGOFS, входящей в МГБП. Запуск спутника ERS-1, в комплекс аппаратуры которого входит скаттерометр, позволяет располагать глобальным массивом данных о приводной скорости ветра и, соответственно, получить более полную информацию о потоке  $\text{CO}_2$ . Согласно имеющимся оценкам, среднегодовой поток  $\text{CO}_2$ , поглощенного океаном, варьирует в пределах 0,9–1,4 Гт углерода (в зависимости от исходных данных для расчетов).

А.Г. Гранков и А.М. Шутко (СССР) рассмотрели роль различных факторов формирования радиояркости температуры поверхности океана (ТПО) на различных длинах волн (10–100 см); морской пены, волнения, солёности – с целью обоснования оптимального выбора длин волн для восстановления ТПО. Д. Минстер и др. (Франция) обсудили методические аспекты интерпретации данных высотометрических наблюдений со спутника GEOSAT с целью восстановления высоты среднего уровня поверхности океана, его приливных вариаций, а также характеристик макро- и мезомасштабной изменчивости океана. Проиллюстрированы возможности радиовысотометрии с точки зрения возможностей восстановления топографии континентального ледяного покрова. Имея в виду подготовку к обработке радиовысотометрических данных ERS-1 и TOPEX/POSEIDON, К. Ваккер и др. (Нидерланды) опробовали разработанную ими методику на примере данных спутника GEOSAT для юго-восточного сектора Атлантического океана (за 1 год) и Северной Атлантики (за 2 года). Полученные результаты проиллюстрированы картами восстановленных значений высоты среднего уровня океана за один или два года. Анализ отклонений от среднего уровня позволил выявить изменчивость топографии поверхности океана, которая оказалась особенно сильной в регионах течений Агульхас и Гольфстрим. Наличие сведений об относительной динамике топографии океана позволило рассчитать поля течений (в относительных единицах), анализ которых обнаружил наличие целого ряда вихрей. Определение их траекторий, скорости и значений открыло возможности слежения за динамикой вихрей (их движение оказалось очень сложным).

## V. Спутниковые системы наблюдений

Национальные программы различных стран предусматривают завершение к концу текущего столетия создания гигантской спутниковой системы экологических наблюдений. Поскольку эти программы достаточно широко освещались в опубликованной литературе [3, 5, 6, 8, 16], можно ограничиться лишь краткими комментариями по поводу обсуждения этой проблематики на конгрессе КОСПАГ.

В. Хантресс (США) представил общую характеристику создаваемой в США системы EOS, которая является ключевым компонентом программы «Миссия к планете Земля» и более широкой программы «Глобальные изменения». Установленная на 6 спутниках системы EOS научная аппаратура (включая пилотируемую орбитальную станцию «Фридом») позволит в течение 15 лет запланированной продолжительности функционирования системы получать обширную информацию об окружаю-

шей среде и биосфере, ежесуточный объем которой составит около 2 терабайт. Полученные ранее данные уже позволили располагать картами распределения температуры поверхности суши и океана, содержания озона, концентрации фитопланктона, приводного ветра и других величин. Большое значение придается своевременному (до начала функционирования системы EOS) созданию эффективной системы обработки, архивации и распространения данных. Что касается проблемы хранения данных, то наиболее целесообразной признана распределенная система, обеспеченная компьютерными средствами связи для доступа пользователей к информации.

А.В. Карпов (СССР) охарактеризовал существующую в СССР систему метеорологических («Метеор»), океанографических («Океан») и природноресурсных («Гесурс-01») спутников оперативного назначения, которые используются также для некоторых разработок на основе международного сотрудничества (советско-французский проект «Ска- раб» с целью измерений радиационного баланса Земли, установка американской озонметрической аппаратуры на спутниках «Метеор»). К.Я. Кондратьев дополнил этот доклад сообщением о разработках, связанных с использованием данных спутника «Алмаз», и подготовкой природноресурсного модуля для орбитальной станции «Мир». Б. Холмью (Великобритания) выступил с кратким сообщением о планах Европейского космического агентства, посвященных, главным образом, перспективам использования данных спутника ERS-1, который был запущен в 1991 г. (уже принято решение о финансировании работ по подготовке к запуску ERS-2 в 1994 г.). Важное значение имел запуск 3 июня 1990 г. геостационарного спутника METEOSAT-4. Ведется разработка геостационарных спутников следующего поколения, первый из которых предполагается запустить в 1998 г.

Т. Танака (Япония) обсудил планы японского космического агентства НАСДА, остановившись, главным образом, на описании природно-ресурсного спутника JERS-1 (выведен в начале 1992 г. на солнечно-синхронную орбиту с углом наклона  $97,7^\circ$  с высотой 568 км при предполагаемом времени жизни около 2 лет) и природно-ресурсного спутника ADEOS (начало 1995 г., солнечно-синхронная орбита:  $98,59^\circ$ ; 796,75 км; время жизни около 3 лет). Комплекс аппаратуры последнего включает 12-канальный сканер цвета океана и температуры (OCTS), 5-канальный усовершенствованный сканирующий радиометр для видимой и близкой ИК-областей спектра (AVHRR), интерферометрический монитор парниковых газов (IMS), усовершенствованный лимбовый спектрометр (ILAS), лазерный ретрорефлектор (RIS), французский спектрофотометр-поляриметр POLDER, а также американскую аппаратуру для измерений озона (TOMS) и скаттерометр (13,995 ГГц).

Аппаратура OCTS имеет следующие каналы (в скобках указана их ширина): 0,412; 0,443; 0,490; 0,520 (0,02); 0,565; 0,665 (0,002); 0,765; 0,865 (0,04); 3,7 (0,3); 8,5 (0,5); 11,0; 12,0 мкм (1,0 мкм), тогда как каналы AVHRR располагаются на длинах волн: 0,45; 0,57; 0,67; 0,87, (0,1); 0,62 мкм (0,2 мкм). Пространственное разрешение сканеров составляет соответственно 700 м (ширина полосы обзора 1400 км) и 16 м (или 8 м на длине волны 0,62 мкм) при полосе шириной 80 км. IMG, предназначенный для восстановления вертикальных профилей ПГ на высотах 10–60 км, обеспечивает измерения спектра уходящего излучения в диапазоне 3–15 мкм при мгновенном поле зрения  $0,75 \times 0,75^\circ$  в полосе шириной 20 км. ILAS функционирует в трех спектральных интервалах: 0,753–0,784; 4,1–6,9 и 7,3–11,8 мкм при поле зрения  $\pm 15^\circ$  (по вертикали) и  $+10^\circ$  (по горизонтали).

Японские специалисты примут участие в метеорологических наблюдениях тропиков (главную задачу составляет слежение за осадками) при помощи аппаратуры, установленной на спутнике TRMM (1966 г.), который будет выведен на орбиту с малым углом наклона (около  $35^\circ$ ) и высотой 350 км. Разрабатывается комплекс аппаратуры природноресурсного спутника JPOP, который планируется запустить не ранее 1998 г.

Весьма обширна программа французских природноресурсных и экологических исследований, представленная Ж.-Л. Фелоусом и А. Ратье и направленная на решение задач МГБП и ВПИК. Существенным элементом программы являются: подготовка запуска SPOT-3 (вероятно, 1993 г., что зависит от успешности функционирования SPOT-2) и SPOT-4 (1995 г.?), участие в американо-французской миссии TOPEX/POSEIDON (радиовысотометрные наблюдения), реализация которой намечена на середину 1992 г., когда начнется полномасштабное осуществление эксперимента по изучению циркуляции Мирового океана (WOCE). Важный вклад вносят французские специалисты в выполнение программ спутников ERS-1 (прежде всего СВЧ зондирование атмосферы) и UARS (восстановление полей ветра и температуры по данным видеоинтерферометра). Ведется разработка спутника BEST, программа которого аналогична TRMM, и опирается на использование такой аппаратуры, как метеорологический радиолокатор, доплеровский лидар и лидар на основе принципа дифференциального поглощения. Уже упоминались некоторые советско-французские разработки, которые включают также проект «Алиса» (лидарное зондирование облачного покрова со станции «Мир»). Очень перспективна разработка спутника Globosat, имеющая целью исследования в области химии атмосферы, климатологии и др.

Д. Оринг (США) охарактеризовал разработки, осуществляемые NOAA, в число которых входят: усовершенствование алгоритмов восстановления температуры поверхности океана, обоснование корректной интерпретации данных о нормированном вегетационном индексе, оценки облачно-радиационного воздействия на климат, восстановление радиационного баланса подстилающей поверхности, восстановление общего содержания озона по ИК данным, использование результатов дистанционного зондирования в прогнозе погоды и др.

В ряде докладов частного характера описаны разнообразные виды аппаратуры, разрабатываемые для спутников различного назначения: В. Саломонсон (США)—видеоспектрометр MODIS (для системы EOS); М. Сандер и Д. Уэй (США)—радиолокатор с синтезированной апертурой (EOS); Ж. Берто (Франция) и др. — озонометрический компонент спектрометра GOMOS (Европейская полярная платформа); А. Годе (Нидерланды) и др. — спектрометр SCIAMACHY.

Р. Боулер (Великобритания) сообщил о разработке видеоспектрометра с гребенчатым сканером для видимой и близкой ИК-областей спектра. Эта аппаратура, состоящая из двух идентичных телескопов, направленных (в плоскости орбиты спутника) под углом  $\pm 20^\circ$ , позволяет получать стереоскопические изображения местности с разрешением, равным 5 м, для полосы обзора шириной 60 км, которая может смещаться в пределах подспутниковой полосы  $\pm 300$  км. Эту аппаратуру планируется установить на Европейской полярной платформе, которая будет выведена на орбиту с углом наклона  $98,7^\circ$  и высотой 824 км. Точность ориентирования спутника (по трем осям) составит  $+0,03^\circ$ , блуждания  $\pm 0,015^\circ$ , что допускает точность определения направления визирования, равную  $\pm 0,03^\circ$ . Обсуждаемые стереографические изображения могут быть использованы, в частности, для построения цифровых топографических карт. С целью минимизации влияния атмосферной дымки для получения стереоизображений использован канал 0,7—0,9 мкм. В случае каналов в видимой области спектра разрешение изображений составит 10 м. Для применения в исследовательских целях разработан 40-канальный видеоспектрометр (пространственное разрешение 20 м при полосе обзора шириной 7,5 км), который может функционировать в режимах получения изображений или спектров. Рассматривается возможность получения изображений с разрешением 2,5 м.

Д. Вейн (США) охарактеризовал результаты осуществления программы самолетных испытаний (самолеты C-130, ER-2) комплекса разнообразной аппаратуры, разработанной для системы EOS, приведя в качестве иллюстрации данные полетов в районе полуострова Юкатан (Центральная Америка) над лесами влажных тропиков. И. Кудо и др. (Япония) описали предназначенные для спутников ADEOS 8-канальную сканирующую аппаратуру в оптическом диапазоне (OPS) и радиолокатор бокового обзора с синтезированной апертурой для полосы L с горизонтально-горизонтальной поляризацией при пространственном разрешении, равном 18 м, и ширине полосы обзора 75 км. OPS обеспечивает размеры элемента разрешения (на уровне земной поверхности)  $18 \times 24$  км при ширине полосы обзора 75 км. Использованы следующие каналы: 0,52—0,60; 0,63—0,69; 0,76—0,86; (для получения стереографических изображений); 1,60—1,71; 2,01—2,12; 2,13—2,25; 2,27—2,40 мкм.

И. Бодехтель и С. Соммер (Германия) обсудили результаты самолетных наблюдений в различных районах Западной Европы над сушей и над морем при помощи многоканального трехдиапазонного сканера: 450—865 нм (31 канал); 1440—1800 нм (4 канала); 2000—2500 нм (28 каналов). Ширина каналов составляет соответственно 12,3; 120,0 и 16,3 нм. Использовался также 8-канальный (интервал длин волн 400—850 нм) видеоспектрометр. Полеты производились над ключевыми участками, где осуществлены разнообразные синхронные наземные наблюдения. А. Оно и Х. Фуджисада (Япония) описали видеоспектрометр (ITIR), созданный в Японии для американской Полярной платформы. Имеющий два телескопа, направленных в разные стороны (для получения стереографических изображений), ITIR позволит получать изображения в 14 интервалах длин волн с пространственным разрешением 15 м (каналы 1—3), 30 м (каналы 4—9), 90 м (каналы 10—14). Использована следующая совокупность каналов (в порядке их номеров): 0,52—0,60; 0,63—0,69; 0,76—0,80; 1,60—1,71; 2,02—2,12; 2,12—2,19; 2,19—2,26; 2,29—2,36; 2,36—2,43; 8,125—8,475; 8,475—8,825; 8,925—9,275; 10,25—10,95; 10,95—11,65 мкм. К. Маеда и др. (Япония) проанализировали результаты интерпретации данных японского океанографического спутника MOS-1 с точки зрения его полезности для подготовки и интерпретации данных спутников ERS-1 и JERS-1.

## VI. Управление глобальными массивами данных

В связи с тем что объем уже имеющихся данных спутниковых наблюдений огромен, а до конца столетия он возрастет на несколько порядков величины, проблема управления глобальными массивами данных приобретает ключевое значение. Именно это определило решение о проведении специальной сессии по проблеме данных.

Целью доклада Д. Таунсенда (США) была общая характеристика системы данных и информации в рамках МГБП, состоящей из значительного числа региональных и трех мировых центров данных. Стоящие в связи с этим задачи проиллюстрированы поисковым проектом для слежения за изменениями земной поверхности, проявляющимися в уменьшении биоразнообразия и биопродуктивности, что порождает серьезное (и интерактивное) воздействие на климат. Спутниковая информация, главным источником которой являются данные AVHRR с разрешением 1 км, должна быть дополнена комплексными наблюдательными программами на ряде ключевых участков в различных репрезентативных регионах земного шара (включая Убсу-Нур).

В. Хантресс (США), описав схему управления данными в рамках программы EOS, подчеркнул выбор распределенной системы обработки и архивации при наличии надежных компьютерных коммуникаций. Предусмотрено, что эта система может технически обновляться через каждые 5 лет. К настоящему времени накоплены глобальные массивы данных, полученные при помощи различной спутниковой аппаратуры (указаны в скобках) за сравнительно длительные периоды времени: 1978—

1986 г. (CZCS), с 1987 г. (SSM/I), с 1978 г. (TOVS), с 1981 г. (AVHRR), с 1978 г. (GOES). Большую работу по архивации данных проводит NOAA, располагающая архивами по облачному покрову, аэрозолю, озону, снежному и ледяному покрову, температуре поверхности океана, содержанию озона и др.

Д. Халперн и др. (США) представили обзор океанографической информации. Особое внимание уделяется накоплению данных радио- высотометрических, скаттерометрических и СВЧ наблюдений над открытой поверхностью океана, а также по динамике снежного и ледяного покрова, температуры поверхности и цвета океана. В качестве примера новых массивов данных приведены глобальные карты разности концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере и верхнем слое океана, характеризующие потоки углекислого газа между атмосферой и океаном. Как сообщили Г. Барток и Г. Вити (Франция), для координации усилий по управлению данными в США создана соответствующая межведомственная рабочая группа.

## **VII. Комбинированная обработка данных, полученных при помощи аппаратуры на разных спутниках, особенно при высоком пространственном разрешении**

Это направление комплексных разработок с целью природноресурсной, экологической и другой интерпретации данных спутниковых наблюдений привлекло особенно широкое внимание японских специалистов, а соответствующая сессия была организована проф. К. Цучия (Токийский университет) – инициатором создания японского океанографического спутника MOS.

К. Цучия и М. Токуно рассмотрели результаты совместного анализа данных радиометра для видимой и тепловой областей спектра – VTIR (MOS-1), четырехканального (0,51–0,59; 0,61–0,69; 0,72–0,80; 0,80–1,10 мкм) радиометра с электронным сканированием – MESSR (MOS-1), двухканального (10,5–12,5 мкм) сканирующего радиометра для видимой и ИК-областей спектра – VISSR (японский геостационарный спутник GMS-3) и пятиканального (0,58–0,68; 0,725–1,1; 3,55–3,93; 10,3–11,3; 11,5–12,5 мкм) AVHRR (NOAA-9) с целью восстановления температуры и альbedo поверхности океана, обнаружив лишь вполне приемлемые расхождения восстановленных величин, хотя были выбраны наиболее сложные атмосферные условия при наличии перистых облаков или мелких кучевых облаков, распознавание которых было обеспечено данными MESSR.

И. Нишимура и др. привели пример восстановления температуры поверхности океана и концентрации взвешенного вещества (SS) в море Ариаке по данным самолетного многоканального сканера, аппаратуры тематического картирования спутника Landsat и радиометра AVHRR с использованием эмпирической регрессионной методики, основанной на привязке к результатам контрольных наблюдений. Так, например,  $SS = 0,0015 \exp(55.838X)$ , где  $X = B3/(B1 + B2 + B3 + B4)$ , а B – данные Landsat для различных каналов. Полученные результаты использованы для картирования ТПО и концентрации взвешенного вещества. Ю. Суга продемонстрировал эффективность комплексного анализа многомоментных данных многоспектральной съемки со спутников Landsat и SPOT для района Хиросимы и массива информации географической информационной системы с целью анализа динамики землепользования и ландшафтного картирования. Ш. Чехара и Т. Морохоси привели пример важности использования разномоментной съемки с разных спутников (MOS-1, Landsat, SPOT) в сочетании с данными наземных наблюдений для прослеживания последствий вулканического извержения (потоки лавы, повреждение растительности, выбросы пепла и др.), происшедшего на о. Миякедзима 3 октября 1983 г. С. Танака обсудил возможности анализа локальных экологических последствий антропогенных воздействий по данным космосъемки очень высокого разрешения (до нескольких метров и выше), которая должна стать возможной к 2020 г. Рассмотрены примеры поражения леса кислотными осадками и насекомыми, влияния удобрений, применяемых для поддержания в хорошем состоянии площадок для гольфа (стоит отметить, что подобные задачи лучше решать по данным авиасъемки).

В ряде докладов японских специалистов обсуждалась проблематика геометрической (Т. Осути и др.) и атмосферной коррекции. С. Мукаи и Т. Мукаи рассмотрели задачу об атмосферной коррекции применительно к восстановлению концентрации хлорофилла по данным аппаратуры CZCS (спутник «Нимбус-7»). Основу методики коррекции составляет расчет соответствующих поправок для заданной модели атмосферного аэрозоля с последующей адаптацией к измеренным со спутника значениям яркости системы «поверхность–океан–атмосфера». Имея в виду решение задачи атмосферной коррекции, К. Цучия и М. Мацумото предложили методику восстановления счетной концентрации аэрозоля по данным для ИК-каналов аппаратуры VTIR (спутник MOS-1) в условиях сухой атмосферы. С общим обзором по проблеме атмосферной коррекции выступил С. Гаретл (США), не предложивший, однако, конкретных решений.

Х. Реверкомб и др. (США) обсудили преимущества геостационарных спутников для слежения за пространственно-временной изменчивостью природных явлений и процессов, проиллюстрировав общие выводы имитационным анализом данных Фурье спектрометра (GPH1S) для диапазона 3,7–16,1 мкм при разрешении до  $0,1 \text{ см}^{-1}$  (для неаподизированного спектра). Аппаратура GPH1S может функционировать в двух режимах: 1) регистрации спектров в широком диапазоне длин волн при разрешении  $0,33 \text{ см}^{-1}$ ; 2) регистрации спектров в узких интервалах длин волн при сверхвысоком разрешении. Главное назначение аппаратуры – восстановление вертикальных профилей температуры (с погрешностью около  $1^\circ\text{C}$ ) и отношения смеси многих малых газовых компонентов. Д. Дозьер (США) описал результаты комплексной работы с использованием данных дистанционного зондирования и обычных наблюдений для изучения формирования речного стока при таянии снега в горах, которое

определяется прежде всего динамикой радиационного баланса подстилающей поверхности. Расчеты альbedo снежного покрова хорошо согласуются с наблюдениями, если ввести адекватный эффективный радиус частиц снега, считая их сферическими.

### Выводы и предложения

Приняв участие в конгрессе КОСПАР после десятилетнего перерыва, считаю нужным отметить:

1. Научный уровень конгресса был достаточно высоким, хотя международный программный комитет приложил явно недостаточные усилия для того, чтобы продолжавшиеся все 11 дней работы конгресса сессии по экологической и природно-ресурсной проблематике представляли собой единое логическое целое, а число случайных (и слабых) докладов не было значительным. Главные тенденции в области дистанционного зондирования (ДЗ) характеризуются беспрецедентным возрастанием сложности аппаратуры и объема информации (только к концу столетия могут быть доступными супервысокопроизводительные компьютеры, способные обрабатывать массивы информации в триллионы байт). На этом фоне наше отставание в аппаратурных разработках выглядит еще более катастрофическим. Мы до сих пор не располагаем, например, даже сканирующей аппаратурой типа четырех (а сейчас пяти) канального радиометра AVHRR с надежной калибровкой (что определяет возможность цифровой обработки данных), давно используемого на спутниках NOAA. К сожалению, наши головные НИИ в области ДЗ до сих пор не воспользовались возможностью накопления опыта интерпретации подобных данных, передаваемых и с полярноорбитальных и с геостационарных спутников в режиме непосредственной передачи.

2. Не вызывает сомнений, что экологическая и природно-ресурсная проблематика составляет главную часть научной программы КОСПАР, но это практически никак не отразилось на составе советской делегации. При беспрецедентно большой (для поездки на запад) численности делегации (более 60 человек) космическое земледевие не было представлено ни одним ведущим советским специалистом. Результаты позорны: даже маленькая Венгрия выглядела как государство, представленное более солидно.

3. Поскольку недавно была учреждена комиссия по подготовке конгрессов КОСПАР и МАФ, необходимо, сделать так, чтобы она стала работоспособной и взяла на себя решение задачи конкурсного отбора докладов и докладчиков, а также заблаговременную подготовку предложений по программам и кадровым (с точки зрения постов в КОСПАР) вопросам. Экспертные функции могли бы осуществлять соответствующие секции МНТС по КИ.

4. Пора прекратить практику командирования на международные конференции, не сопровождаемые синхронным переводом, специалистов, не знающих английского языка.

5. Требуется серьезного анализа современное состояние дел в области международного сотрудничества по применению ДЗ, для которого до сих пор характерны ведомственная разобщенность и (иногда) безответственность и неорганизованность. Следует существенно повысить роль МНТС по КИ и «Интеркосмоса» в координации международного сотрудничества, создав для этого необходимые условия.

6. К сожалению, на западе плохо известно (или совсем неизвестно) о доступности информации, полученной при помощи радиолокаторов бокового обзора, установленных на спутниках «Космос-1500» и «Космос-1870». Имея в виду наш несомненный приоритет в этой области (на западе подобная информация появилась лишь после запуска спутников ERS-1 и JERS-1), следует срочно развернуть более активное рекламирование соответствующих разработок.

Москва, 7 июля 1990 г.

К.Я. Кондратьев

1. Горшков В.Г., Кондратьев К.Я. // Вестник АН СССР, 1988. № 13. С. 62–70.
2. Горшков В.Г., Кондратьев К.Я. // Экология. 1990. № 1. С. 7–17.
3. Кондратьев К.Я. // Исследования Земли из космоса. 1987. № 4. С. 104–118.
4. Кондратьев К.Я. Глобальный климат и его изменения. М.: Наука, 1988. 232 с.
5. Кондратьев К.Я., Покровский О.М. // Изв. АН СССР. Сер. географ. 1989. № 1. С. 20–27.
6. Кондратьев К.Я. // Исследования Земли из космоса. 1990. № 1. С. 3–13.
7. Кондратьев К.Я. Планета Марс. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 308 с.
8. Кондратьев К.Я., Козодеров В.В., Топчиев А.Г., Федченко П.П. Биосфера: методы и результаты дистанционного зондирования. М.: Наука, 1990. 224 с.
9. Марчук Г.П., Кондратьев К.Я., Козодеров В.В., Хворостьянов В.И. Облака и климат. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 512 с.
10. Марчук Г.И., Кондратьев К.Я., Козодеров В.В. Радиационный баланс Земли: ключевые аспекты. М.: Наука, 1988. 224 с.
11. Марчук Г.И., Кондратьев К.Я., Козодеров В.В., Лаппо С.С., Саркисян А.С., Хворостьянов В.И. // Итоги науки и техники. Атмосфера– океан – космос – программа «Разрезы». М.: ВИНТИ, 1989, I. С. 1–240; II. С. 1–368.
12. Программа биосферных и экологических исследований Академии наук СССР // Вестник АН СССР, 1988, № 11. С. 1–160.

Центр экологической безопасности, РАН,  
Санкт-Петербург

Поступила в редакцию  
15 декабря 1991 г.