

**К.Я. Кондратьев**

## **КЛЮЧЕВЫЕ АСПЕКТЫ ГЛОБАЛЬНОЙ И РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИИ В КОНТЕКСТЕ ПЕРСПЕКТИВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

Обсуждены приоритеты глобальной экологии и вытекающие из них требования к данным наблюдений окружающей среды и биосферы. Решающее значение для обеспечения экологической безопасности приобретает осуществление оптимизированной глобальной системы наблюдений для слежения за динамикой биосферы и окружающей среды с целью заблаговременного обнаружения опасных изменений. Высказаны соображения о методологии оптимизации системы наблюдений.

Обостряющиеся во всем мире экологические проблемы вызывают усиливающуюся озабоченность и определяют неотложную необходимость обоснования приоритетов, поскольку эти проблемы многочисленны и разнообразны, а средства их решения ограничены. Особое внимание привлекают в этой связи экологические проблемы, проявляющиеся в глобальных масштабах и (в некоторых случаях) угрожающие жизни человека [1, 2]. Учет экологических приоритетов имеет принципиально важное значение для планирования перспектив развития дистанционного зондирования [3].

Возможности существования жизни на Земле определяются сложным взаимодействием физических, химических и биологических процессов, протекающих в окружающей среде и биосфере в условиях всевозрастающего воздействия хозяйственной деятельности человека на природу. Несомненно, однако, что главным внешним фактором, регулирующим природные процессы, является поступление солнечной радиации, определяемое солнечной постоянной, поскольку это практически единственный источник энергии для функционирования природных процессов. Благоприятное (с точки зрения расстояния до Солнца) расположение нашей планеты в пределах Солнечной системы создало уникальные возможности для возникновения жизни на Земле и формирования специфического теплового баланса планеты. Естественно, что (по определению) тепловой баланс Земли (разность между поглощенной ею солнечной радиацией и потерей тепла за счет уходящей длинноволновой радиации), в среднем, равен нулю (в противном случае происходило бы катастрофическое прогревание или выхолаживание планеты). Исключительно важное значение для эволюции жизни имеют изменения тонкой структуры спектрального распределения солнечной радиации [4].

Что касается внутренних закономерностей функционирования процессов на планете, то они связаны прежде всего с круговоротами вещества и энергии [2, 3].

**1. Тепловой баланс Земли.** Существуют две приоритетные проблемы динамики теплового баланса Земли: 1) изменение поступления солнечной энергии – солнечной «постоянной», которая определяется как интегральный (по спектру) поток солнечной радиации на уровне верхней границы атмосферы при среднем расстоянии между Землей и Солнцем; 2) антропогенно обусловленное перераспределение компонентов теплового баланса земной поверхности и атмосферы, выражающееся прежде всего в усилении парникового эффекта атмосферы за счет роста содержания так называемых парниковых газов (ПГ) – оптически активных малых газовых компонентов атмосферы.

Что касается изменений внеатмосферной инсоляции, имеющих значение в первую очередь как климатообразующий фактор, то, хотя они относительно существенны (достигают нескольких процентов) в ультрафиолетовой части солнечного спектра, величина солнечной постоянной варьирует (как показал анализ данных спутниковых наблюдений) лишь в пределах до 0,2%. Однако и такие вариации существенно принимать во внимание при изучении причин изменений глобального климата. Ввиду кратковременности ряда спутниковых на-

блюдений (порядка 10 лет), остается неясной возможность долговременных трендов солнечной постоянной, хотя существуют некоторые основания считать, что подобные тренды имеют место (как известно, за несколько миллиардов лет эволюции Земли солнечная постоянная возросла на 30–35%). В масштабах сотен, тысяч лет и более несомненна роль перераспределения по земному шару внеатмосферной инсоляции, обусловленного вариациями орбитальных параметров. Накапливается все больше результатов наблюдений, свидетельствующих о влиянии солнечной активности на климат, но до сих пор не достигнуто заметного прогресса в понимании механизмов, определяющих такого рода влияние [1].

С точки зрения мониторинга динамики теплового баланса Земли актуальное значение сохраняют спутниковые наблюдения внеатмосферного спектрального распределения солнечной радиации, солнечной постоянной и компонентов радиационного баланса Земли (РБЗ). Очень важное значение имеют также наблюдения РБ подстилающей поверхности и атмосферы с использованием наземных, судовых, самолетных и аэростатных средств наблюдений. Приоритетной проблемой исключительной сложности являются исследования всей совокупности преобразований круговоротов энергии и воды, порожденных антропогенными воздействиями. Острая актуальность распознавания «парникового» сигнала в изменениях климата диктует необходимость осуществления соответствующих комплексных наблюдательных экспериментов. Важный вклад в решение упомянутых проблем должен внести Глобальный эксперимент по круговоротам воды и энергии GEWEX [1, 5].

20-е столетие завершается обострением ряда глобальных экологических проблем. Наибольшее внимание привлекает проблема возможного потепления климата в результате возрастания концентрации в атмосфере таких парниковых газов, как углекислый газ, метан, закись азота, тропосферный озон и др. Как справедливо отмечено в «Отчете межправительственной группы экспертов по проблеме изменений климата» (МГЭИК), одобренном участниками состоявшейся в Женеве 29 октября — 7 ноября 1990 г. Второй всемирной конференции по климату [1], до сих пор остается неясным, однако, в какой мере потепление глобального климата, наблюдавшееся за последние 100 лет, обусловлено природной изменчивостью климатической системы «атмосфера–океан–суша–ледяной покров–биосфера» и ростом концентрации ПГ. Имеющиеся результаты численного моделирования климата не противоречат возможности антропогенно обусловленного потепления, но не могут рассматриваться как доказательные.

Несомненно, большего внимания требует тот факт, что главным ПГ является водяной пар. Проблема состоит в том, что вода существует на Земле в трех фазах и это определяет большие трудности учета фазовых преобразований воды и их последствий в теории климата. Так, например, задача параметризации процессов образования и эволюции облачного покрова, его взаимодействия с радиацией остается нерешенной. Не менее важное значение имеет учет климатообразующей роли взаимодействия океана и атмосферы [2, 5]. Серьезное внимание привлекает анализ возможности существования «аэрозольного» воздействия на климат, существенно компенсирующего вклад «парникового эффекта» [1].

**2. Динамика биосферы.** Следует подчеркнуть, что изменения климата составляют только часть (и даже не самую главную, несмотря на их несомненно большое практическое значение) проблемы глобальных изменений. Наиболее острые проблемы глобальной экологии связаны с антропогенными воздействиями на биосферу, которые проявляются в первую очередь в результате вырубки лесов, изменений плодородия почв и биопродуктивности Мирового океана, приводящих к нарушению замкнутости глобальных биогеохимических круговоротов таких элементов, как углерод, сера, азот и др. В случае круговорота углерода значительные нарушения произошли на рубеже XIX—XX вв.

Не вызывает сомнений, что изменения газового состава атмосферы влияют на ее парниковый эффект и могут оказать значительное воздействие на глобальный климат. В тесной связи с этой проблемой находится динамика глобального слоя озона, подверженного влиянию выбросов хлорфторуглеродных соединений. Не менее важное место занимает проблема тропосферного озона – содержания озона в воздухе, которым мы дышим. Следует при этом иметь в виду, что возможное потепление климата и уменьшение общего содержания озона в стратосфере повлекут за собой усиление смоговых фотохимических реакций образования озона у земной поверхности, что создаст серьезную угрозу для здоровья человека.

Ключевое значение (в том числе и с точки зрения проблемы изменений климата) имеет тот факт, что в условиях невозмущенной природной среды глобальные биогеохимические

круговороты различных элементов (углерод, сера, азот, фосфор и др.) являются замкнутыми с высокой степенью точности порядка 0,01% [2]. За последнее столетие эта замкнутость уменьшилась примерно на один порядок величины, что (при сохранении подобной тенденции) грозит глобальной экологической катастрофой, т.е. разрушением существующей биосферы через несколько столетий.

Именно поэтому фундаментальное значение приобретает проблема динамики биосферы, которую следует рассматривать как главный приоритет глобальной экологии [2].

Неотъемлемым компонентом глобальной экологии являются многочисленные региональные экологические проблемы (опустынивание, загрязнение окружающей среды, трансграничный перенос, деградация лесов и почв и др.).

Исключительно важное значение имеет координирование всех усилий. Имея в виду, что наиболее острым аспектом глобальной экологии является проблема глобальной безопасности [2], целесообразно поставить вопрос о создании нового специализированного органа ООН – Центра или совета экологической безопасности (ЦЭБ), в систему которого могли бы войти некоторые уже существующие организации (например, ЮНЕП, ЮНЕСКО).

Особое значение имеет дальнейший прогресс имитационного численного моделирования динамики биосферы [2], которое все еще находится в первоначальной стадии развития и фактически ограничивается разработкой и применением (главным образом) несовершенных моделей климата. По-видимому, наиболее перспективно постепенное обогащение существующих моделей климата путем интерактивного учета биогеохимических круговоротов (сначала – углерода, серы и азота), и, следовательно, – интерактивного воспроизведения изменений химического состава атмосферы, наиболее существенных характеристик биосферы и динамики климата. Подобный подход должен оказаться плодотворным для достижения более глубокого понимания (и, по возможности, прогноза) закономерностей изменений климата и динамики биосферы.

Осуществление имитационного численного моделирования, обработка и анализ данных глобальной системы наблюдений невозможны без наличия высокопроизводительных ЭВМ и мощных центров данных. Поэтому крайне желательно создание (под эгидой ООН) нескольких региональных международных центров данных и численного моделирования, оснащенных наиболее совершенной вычислительной техникой. Моделями (с некоторыми серьезными оговорками) могут служить, например, Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды (Брекнелл, Великобритания) и Международный институт прикладного системного анализа (Лаксенбург, Австрия).

**3. Система наблюдений.** Первичность проблемы динамики глобальной биосферы и нарушения биогеохимических круговоротов (прежде всего круговорота углерода) определяет неотложную необходимость обоснования и создания оптимальной глобальной системы наблюдений для слежения за процессами, происходящими в биосфере и в окружающей среде, что может быть сделано только на основе международного сотрудничества под эгидой ООН.

Пока еще отсутствующее обоснование оптимальной (адекватной) системы наблюдений возможно лишь на базе анализа данных имитационного численного моделирования с целью формулирования приоритетов и требований к данным наблюдений [3]. Анализ закономерностей динамики биосферы по данным наблюдений требует комбинированного использования как обычных (на суше и в океане), так и спутниковых средств наблюдений. При этом важно сконцентрировать обычные средства наблюдений (особенно суда) в таких регионах, где экологические изменения особенно значительны, а также применять эко-системный подход к планированию систем наблюдений. Подобная ситуация выдвигает проблему оптимального планирования глобальных систем наблюдений как приоритетную, включая, например, системы, планируемые в рамках программ «Миссия к планете Земля» [1, 2]. Эта проблема детально обсуждена в монографии [3].

Как показал анализ экологической ситуации на европейском континенте, наиболее чувствительными к изменяющимся условиям окружающей среды оказываются: управление водными ресурсами, закисление почв, производство древесины и уровень моря, а относительно нечувствительными – развитие транспорта и городов. Этот анализ привел к выводу, что только экологически безопасное развитие как в Европе, так и во всем мире может обеспечить экологическое благополучие человечества.

К числу мер, необходимых для экологически устойчивого развития, принадлежат: 1) энерго- и ресурсосбережение в промышленности и сельском хозяйстве; 2) снижение выбросов в окружающую среду путем применения малоотходных технологий; 3) повышение качества аппаратуры для контроля загрязнений; 4) стимулирование разработок экологически безопасных технологий и продукции; 5) сокращение применения химических удобрений и пестицидов в сельском хозяйстве и др. Важным средством контроля за соблюдением условий устойчивого экоразвития должны стать методы дистанционного зондирования.

**4. Заключение.** С точки зрения перспектив дальнейших исследований и разработок приоритетное значение имеют: 1) имитационное численное моделирование использования земель в условиях возрастающих антропогенных нагрузок; 2) исследования «промышленного метаболизма» (антропогенных круговоротов вещества и энергии) для целостных природных систем и изменений химического состава природных сред (включая загрязнения, закисление, засоление, эвтрофирование и др.); 3) оценка пределов устойчивости экосистем при антропогенных нагрузках; 4) обоснование оптимизированных систем наблюдений с учетом специфических особенностей социально-экономического развития [3].

1. Кондратьев К. Я. Глобальный климат. СПб.: Наука, 1992. 359 с.
2. Марчук Г. И., Кондратьев К. Я. Приоритеты глобальной экологии. М.: Наука, 1992. 264 с.
3. Кондратьев К. Я., Бузников А. А., Покровский О. М. Глобальная экология: дистанционное зондирование. «Итоги науки и техники. Атмосфера, океан, космос – Программа «Разрезы». Т. 14. М.: ВИНТИ, 1992. 310 с.
4. Кондратьев К. Я., Федченко П. П. Тонкая структура спектра Солнца и ее роль в эволюции биосферы. СПб: ПРОПО, 1992. 40 с.
5. Кондратьев К. Я., Мелентьев В. В., Назаркин В. А. Космическая дистанционная индикация акваторий и водосборов. СПб: Гидрометеоиздат, 1992. 248 с.

Научно-исследовательский центр экологической безопасности,  
С.-Петербург

Поступила в редакцию  
22 октября 1992 г.

**K. Ya. Kondratyev. Key Aspects of Global and Regional Ecology in the Context of Perspectives for Remote Sensing Development.**

Priorities of global ecology and relevant requirements to environmental and biospheric observational data have been discussed. To guarantee ecological safety, it is very important to develop an optimized global observing system for monitoring the biosphere dynamics and environment for the purpose of early detection of dangerous changes. Some thoughts have been expressed concerning the methodology of the optimization of observing systems.