

28.08

Г36

# **ГЕОСИСТЕМЫ: ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ, РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ, МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ**

Материалы  
Международной научной конференции



Туансе  
2008

2. *Переведенцев Ю.П., Наумов Э.П., Шанталинский К.М., Гоголь Ф.В.* Динамика полей температуры Северного полушария в современный период // Проблемы анализа риска. – 2007. – Т. 4. – № 1. – С. 73-82.
3. *Brohan P., Kennedy J.J., Harris I., Tett S.F.B., Jones P.D.* Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850 // *J. Geophysical Research.* – 2006. – Vol. 111. – D12106, doi:10.1029/2005JD006548.
4. *Kalnay et al.* The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* – 1996. – Vol. 77. – Pp. 437–470.
5. *Kelly P. M., Jones P. D., Jia Pengqun.* The spatial response of the climate system to explosive volcanic eruptions // *International Journal of Climatology.* – 1996. – Vol. 16. – № 5. – Pp. 537–550.
6. *Parker D. E., Wilson H., Jones P. D., Christy J. R., Folland C. K.* The impact of Mount Pinatubo on world-wide temperatures // *International Journal of Climatology.* – 1996. – Vol. 16. – № 5. – Pp. 487–497.

## ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И МЕТОДЫ ЕГО РЕКОНСТРУКЦИИ

**Рыбак О.О.,**

*Сочинский научно-исследовательский центр РАН*

**Рыбак Е.А.,**

*Государственный Южный научно-исследовательский полигон РАН, г. Сочи*

Изменения окружающей среды и климата становятся все более очевидны по мере того, как растет длительность инструментальных наблюдений. Свидетельства изменений собраны, систематизированы и проанализированы в отчетах Межправительственной комиссии по изменениям климата (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC). IPCC была организована в 1988 совместным решением Всемирной Метеорологической Организации (WMO) и UNEP (United Nations Environment Programme). Начиная с 1990 года IPCC регулярно готовит отчеты, в которых представлены выводы ведущих экспертов в различных областях наук о Земле о текущих изменениях климата, о наиболее вероятных сценариях этих изменений в обозримом будущем, о последствиях хозяйственной деятельности для климата планеты и о потенциальном влиянии этих изменений на экономику. Всего было представлено 4 отчета. Сопоставление выводов предпоследнего отчета 2001 г. [5] и последнего отчета 2007 г. [6] свидетельствует о том, что оценки экспертов сместились в сторону большего влияния хозяйственной деятельности на климат Земли. Это влияние связано прежде всего с растущей эмиссией парниковых газов в атмосферу планеты. Эксперты с большей уверенностью говорят о том, что современное глобальное потепление является следствием экономической деятельности, а не естественных причин. Согласно [6], повышение средней приземной температуры и уровня моря будут продолжаться в течение столетий даже в случае стабилизации эмиссии парниковых газов. К 2100 г прогнозируется повышение среднегодовой приземной глобально-средней температуры воздуха на 1.8–4 °С, а уровня моря на 28–43 см в зависимости от сценария эмиссии. Таким образом, человечеству предстоит жить в «теплеющем» окружении и столкнуться в будущем с серьезными трудностями, обусловленными глобальными изменениями в окружающей среде. Изменения климата неизбежно будут причиной масштабных изменений в экосистемах планеты, а также приведут к необходимости перестраивать экономику многих стран, приспособивая ее к новым природным условиям.

Прогноз будущих состояний климата, особенно на длительные сроки (десятки и сотни лет), невозможен без ясного понимания того, как функционирует климатическая система. Последнее же возможно лишь в том случае, если установлено, как она функционировала в прошлом. К настоящему времени построена общая качественная картина климатических изменений на планете в течение многих миллионов лет. Для последних двух миллионов лет (плейстоцена) такая картина известна более детально. На фоне постепенного понижения глобальной приземной температуры воздуха на протяжении последних 2.5 млн. лет в северном полушарии многократно возникали мощные ледниковые покровы [9]. Когда они распались, возникали относительно кратковременные периоды с условиями, в целом напомиравшими современные или даже более теплыми. О масштабах ледниково-межледниковых колебаний говорит, например, тот факт, что в течение последнего ледникового максимума толщина ледниковых щитов достигала 4 км, а объем аккумулированной в них воды компенсировался понижением уровня Мирового океана на 80-165 м [4]. В процессе глобальных ледниковых колебаний климата перманентно существовали Гренландский и Антарктический щиты. Количество льда, содержащееся в них, эквивалентно (в случае таяния), количеству воды, достаточному для повышения уровня океана приблизительно на 68 м, причем вклад Гренландии составил бы 7 м, а Антарктиды – 61 м [8].

В своем большинстве современные исследователи считают первопричиной вариаций климата в масштабе десятков – сотен тысяч лет гармонические изменения параметров орбиты Земли – эксцентриситета, склонения и прецессии. Связь между колебаниями климата и колебаниями орбитальных параметров носит, по видимому, нелинейный характер [9]. Этим можно объяснить относительно медленный рост ледниковых щитов в северном полушарии и относительно быстрое их отступление и распад. Модельные расчеты показывают, что объем антарктического льда при медленном росте в гляциальные эпохи резко сокращался при потеплении [8]. Масштабы континентального оледенения северного полушария превосходили объем оледенения в южном полушарии. Приток талой воды и изменения уровня Мирового океана в межледниковья происходили преимущественно за счет распада ледниковых щитов северного полушария [4].

Изменения климата не являются чем-то новым, присущим только нашему времени. Многочисленные косвенные свидетельства доинструментальной эпохи, в том числе и различные исторические документы, зафиксировали относительно теплые и холодные эпохи, имевшие место на протяжении тысячелетий истории цивилизации. Иллюстрацией вековых колебаний приземной температуры, имеющих вполне естественные причины, являются и средневековый оптимум 10-13 веков, и так называемый малый ледниковый период 16-19 веков.

В современных палеоклиматологических исследованиях используется широкий спектр методов реконструкций. Все они основаны на анализе косвенных данных. Настоящими «архивами» таких косвенных данных являются ледниковые щиты Гренландии и Антарктиды. Выделение «климатического сигнала» из временного ряда того или иного физико-химического свойства льда, в частности, из ряда концентрации стабильных изотопов, сопряжено с определенными трудностями [2]. История климатических и биосферных изменений на планете запечатлена льдом в нескольких основных формах [1].

1. Газовый состав пузырьков воздуха. Последний соответствует времени их «закрытия», то есть тому времени, когда выпавший на поверхность снег, содержащий множество пор, пройдя стадию фирна, превратился в лед на глубине около 150 м от поверхности.

- Разного рода примеси, растворимые и нерастворимые. Они присутствуют в крайне малых концентрациях, однако, принимая во внимание высокую чистоту льда, по колебаниям концентраций примесей можно получить информацию о состоянии атмосферы (особенностях атмосферной циркуляции) и об отдельных событиях (например, об извержениях вулканов).
- Изотопный состав льда. Речь идет прежде всего об изотопах кислорода и водорода. Их соотношение определяется, в основном, температурой воздуха у верхней границы термической инверсии, и в меньшей степени, другими параметрами.

О вариациях изотопного состава природных вод известно с 30-х годов прошлого века [1]. Позднее было предложено использовать вариации содержания  $^{18}\text{O}$  и  $^2\text{H}$  в снеге и во льду в качестве индикаторов изменения палеотемператур. Поскольку абсолютные концентрации определяются менее точно, чем относительные,  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  и  $^2\text{H}/^1\text{H}$ , для палеорекоonstrukций принято рассчитывать именно относительные отклонения  $\delta$  (которые соответственно обозначают  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta\text{D}$ ). Главным механизмом, который вызывает изменения концентрации  $^{18}\text{O}$  и  $^2\text{H}$  в природных условиях, связан с фазовыми переходами воды. Различие упругостей паров изотопных составляющих воды приводит к фракционированию изотопов кислорода и водорода при всех видах фазовых переходов: испарении, конденсации, таянии и замерзании [1]. Фракционирование зависит от температуры окружающей среды – чем температура ниже, тем больше степень фракционирования.

Воды океана имеют однородный изотопный состав, кроме районов, где происходит их распределение водами рек. В тропиках величина  $\delta$  близка к среднему по Мировому океану. По мере движения в высокие широты испарение с поверхности океана снижается из-за понижения температуры. Концентрация тяжелых изотопов в осадках выше, чем в окружающем воздухе, поскольку они вымываются быстрее, чем легкие изотопы. Поэтому идет постоянный процесс снижения концентрации тяжелых изотопов в потоке воздуха при движении к полюсу. Падение концентрации тяжелых изотопов (понижение  $\delta$ ) продолжается, причем еще более высокими темпами, по мере движения воздуха вдоль повышающегося склона ледникового щита, поскольку испарение с поверхности льда невелико. В этих условиях для расчета концентрации тяжелых изотопов становится возможным применить модель дистилляции Рейли [1].

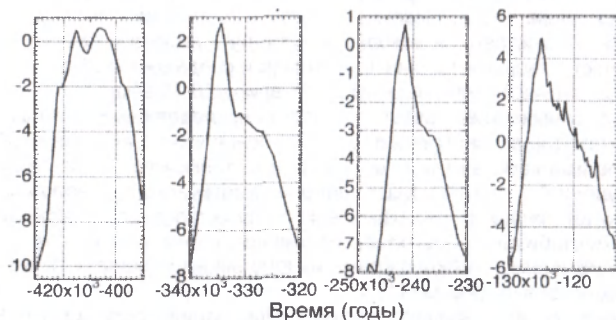


Рис. 1 Реконструированные по косвенным данным [7] отклонения температуры воздуха на Антарктическом ледниковом покрове от современного значения ( $^{\circ}\text{C}$ ) во время последних четырех межледниковий.



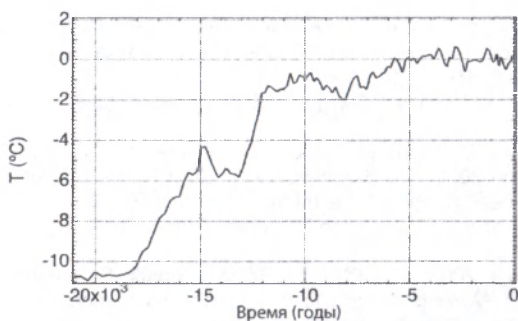


Рис.2 Климатический сигнал от времени последнего ледникового максимума на Антарктическом ледниковом покрове [7].

Палеореконструкции подтверждают масштабные колебания температуры в плейстоцене с амплитудой 12-17 °С и колебаний уровня моря с амплитудой 130-140 м. Так, исследование ледовых кернов позволило восстановить с довольно большой точностью колебания температуры воздуха на протяжении последних 120 тыс. лет (Гренландский ледниковый щит) и 740 тыс. лет (Антарктический ледниковый щит). На рис. 1 показаны восстановленные, по ряду дейтерия из ледового керна, вариации приземной температуры (климатический сигнал) на протяжении нескольких временных интервалов ледниковых циклов [2, 7]. Очевидно, что температура в течение четырех межледниковий, предшествовавших нынешнему, была выше современной. Также и в течение голоцена (последние 10 тыс. лет) температура не оставалась постоянной и неоднократно превышала современную (рис. 2). Уровень моря в течение межледниковья, предшествовавшего нынешнему (120-130 тыс. лет назад), превышал современный на 6 м [3]. В ледяных кернах Гренландии зафиксированы резкие (на 5-8 °С в течение 30-40 лет), положительные и отрицательные скачки приземной температуры воздуха (так называемые Dansgaard-Oeschger и Heinrich events), природа которых до конца не выяснена. Амплитуда и скорость этих явлений несопоставимы с современными, однако, верхний предел прогнозируемого IPCC повышения температуры в течение грядущих ста лет приближаются к характерному масштабу Dansgaard-Oeschger event. Скачкообразные колебания температуры в прошлом заставляют задуматься о нелинейном характере потенциальных изменений климата и о существовании пороговых воздействий на систему, которые действительно способны вызвать катастрофические последствия. Хотя механизмы, управляющие вариациями климата, до сих пор недостаточно изучены, а выводы относительно глобального потепления, сделанные на основе численных экспериментов с математическими моделями, могут быть подвергнуты критике, рост концентрации двуоксида углерода в атмосфере бесспорен. Сегодня она намного превышает максимальный уровень, зафиксированный в антарктических ледовых кернах, во всяком случае, в течение последних 420 тыс. лет [6].

#### Литература

1. Котляков В.М., Гордиенко Ф.Г. Изотопная и геохимическая гляциология – Л: Гидрометеиздат, 1982, 288 с.

2. Рыбак О.О. Выделение климатического сигнала из изотопного ряда в антарктическом ледовом керне // Изв. ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки, 2006, №4, с. 104-108.
3. Chappell J., Shackleton N.J. Oxygen isotopes and sea level // Nature, 1986, V. 324, P. 137-140.
4. Clark P.U., Mix A.C. Ice sheets by volume // Nature, 2000, V. 406, P. 689-690.
5. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change, eds. Houghton J.T. et al. - Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 881 p.
6. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change - <http://www.ipcc.ch>.
7. EPICA community members. Eight glacial cycles from an Antarctic ice core // Nature, 2004, V. 429, P. 623-628.
8. Huybrechts P. Sea-level changes at the LGM from ice-dynamic reconstructions of the Greenland and Antarctic ice sheets during the glacial cycles // Quaternary Science Reviews, 2002, V. 21, P. 203-231.
9. Paillard D. Glacial cycles: towards a new paradigm // Reviews of Geophysics, 2001, V. 39(3), P. 325-346.

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ НЕСОСТОЯТЕЛЬНОСТЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ АНТРОПОГЕННОЙ ПРИРОДЕ СОВРЕМЕННОГО ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА

Сергин С. Я.

*Филиал РГГМУ в г. Туапсе*

Методологической основой анализа причин глобальных изменений климата и климатического прогнозирования должен быть системный подход, поскольку объектом исследования является глобальная климатообразующая система (ГКС).

Если цель состоит в выявлении природы современного (векового) потепления климата и разработке климатического прогноза на текущее столетие, то, следуя методологии системного анализа, необходимо решить следующие задачи:

- построить математическую модель ГКС, реалистично отражающую динамические свойства этой системы для изменений климата с характерными временами в десятки, сотни и первые тысячи лет;
- выявить все существенные воздействия на ГКС, естественные и антропогенные, и описать их в функции пространственных координат и времени (за историческую эпоху);
- доказать работоспособность модели ГКС и адекватность задания внешних воздействий, проводя численные эксперименты по воспроизведению изменений климата в историческую эпоху и сопоставляя результаты с фактическими данными;
- вычленив в динамике изменений климата роль собственной динамики ГКС, внешних воздействий в их совокупности, естественных и антропогенных воздействий по отдельности, проводя соответствующие эксперименты на модели ГКС;
- продлить эксперименты на текущее столетие (т. е. осуществить прогнозирование изменений климата), задавая естественные и предполагаемые антропогенные воздействия на ГКС.