

Библиографија

- Went, F.E., Snyder, R.L., Kyaw Tha Paw, U., and Drexler, J., 2002. An energy budget evaluation of a restored California delta ecosystem using the eddy-covariance method in comparison with the surface renewal method. *Abstracts of the 15th American Meteorological Society Conference on Biometeorology and Aerobiology*. Boston American Meteorological Society, pp. 401-402.
- Wesseloh, B.A., 1966. Investigations on the heat budget of Central Asia, in *Sovremennyye Problemy Klimatologii* (M.I. Budyko, ed.). Leningrad: Meorol. Gidrol. pp. 83-129.
- Wiman, G.B., 1999. Frost followed the plow: impacts of deforestation in the climate of the United States. *Ecological Applications*, 9: 1305-1315.
- Budyko, M.I., 1958. *The Heat Balance of the Earth's Surface*, (N. Stepanova, trans.). Washington, DC: Office of Technical Services, US Department of Commerce.
- Budyko, M.I., 1974. *Climate and Life*, (D. H. Miller, ed.). New York: Academic Press.
- Campbell, G.S., and Norman, J.M., 1998. *An Introduction to Environmental Physics*. New York: Springer.
- Eagster, W., Rouse, W.R., Pielke, R.A., Sr., et al., 2000. Land-atmosphere energy exchange in Arctic tundra and boreal forest: available data and feedbacks to climate. *Global Change Biology*, 6(Suppl. 1): 84-115.
- Gates, D.M., 1980. *Biophysical Ecology*. New York: Springer-Verlag.
- Grimmond, C.S.B., and Oke, T.R., 1995. Comparison of heat fluxes from summertime observations in the suburbs of 4 North-American cities. *Journal of Applied Meteorology*, 34(4): 873-889.
- Grimmond, C.S.B., and Oke, T.R., 2002. Turbulent heat fluxes in urban areas: observations and a local-scale urban meteorological parameterization scheme (LUMPS). *Journal of Applied Meteorology*, 41(7): 792-810.
- Haltmann, A.N., and Dickinson, R.E., 1997. RCM2-BATS model over tropical South America: applications to tropical deforestation. *Journal of Climate*, 10: 1944-1964.
- Hartmann, D.L., 1994. *Global Physical Climatology*. San Diego, CA: Academic Press.
- Hastenrath, S., and Lamb, P.J., 1978. *Heat Budget Atlas of the Tropical Atlantic and Eastern Pacific Oceans*. Madison, WI: University of Wisconsin Press.
- Hastenrath, S., and Lamb, P.J., 1979. *Climatic Atlas of the Indian Ocean*. Part II: *The Oceanic Heat Budget*. Madison, WI: University of Wisconsin Press.
- Holland, J.Z., 1971. Interim report on results from the BOMEX core experiment, *Bomex Bulletin*, 10: 31-43.
- Houghton, J.T., et al. (eds). 2001. *Climate Change 2001: the scientific basis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kalanda, B.D., Oke, T.R., and Spittlehouse, D.L., 1980. Suburban energy balance estimates for Vancouver, B.C., using the Bowen ratio-energy balance approach. *Journal of Applied Meteorology*, 19(7): 791-802.
- Liston, G.E., and Pielke, R.A., 2001. A climate version of the Regional Atmospheric Modeling System. *Theoretical and Applied Climatology*, 68: 155-173.
- Long, I.E., Montieth, J.L., Penman, H.L., and Sziecz, G., 1964. The plant and its environment. *Meteorol. Rundsch*, 17: 97-101.
- Miller, D.H., 1965. The heat and water budget of the Earth's surface, *Advances in Geophysics*, 11: 176-302.
- Munro, D.S., 1975. Energy exchange on a melting glacier, Ph.D. diss. Hamilton, Ontario: McMaster University.
- Ohmura, A., 1982. Climate and energy balance on the alpine tundra. *Journal of Climatology*, 2: 65-84.
- Oke, T.R., 1987. *Boundary Layer Climates*, 2nd edn. London: Methuen.
- Rosenberg, N.J., Blad, B.L., and Verma, S.B., 1983. *Microclimate: the biological environment*, 2nd edn. New York: Wiley.
- Sellers, P.J., and Hall, E.G., 1992. FIFE in 1992: results, scientific gains, and future research directions. *Journal of Geophysical Research*, 97(D17): 19 091-19 109.
- Sellers, P.J., Hall, F.G., Margolis, H., et al., 1995. The boreal ecosystem-atmosphere study (BOREAS): an overview and early results from the 1994 field year. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76(9): 1549-1577.
- Sellers, W.D., 1965. *Physical Climatology*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Stocker, T.F., 2001. (Lead author). Physical climate processes and feedbacks. In Houghton, J. et al., eds., *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 417-470.
- Suckling, P.W., 1980. The energy balance microclimate of a suburban lawn. *Journal of Applied Meteorology*, 19(5): 606-608.
- Vowinckel, E., and Orvig, S., 1968. *A Method for Calculating Synoptic Energy Budget*. Publications in Meteorology, No. 93. Montreal: Arctic Meteorology Research Group, Department of Meteorology, McGill University.
- Waggoner, P.E., Miller, P.M., and De Roo, H.C., 1960. *Plastic Mulching - Principles and Benefits*. Bull. No. 634. New Haven, Conn.: Connecticut Agricultural Experimental Station.
- Waring R.H., Law, B.E., Goulden, M.L. et al., 1995. Scaling gross ecosystem production at Harvard Forest with remote-sensing - a comparison of estimates from a constrained quantum-use efficiency model and eddy-correlation. *Plant Cell and Environment*, 18(10): 1201-1213.
- Yap, D., and Oke, T.R., 1974. Sensible heat fluxes over an urban area - Vancouver, B.C., *Journal of Applied Meteorology*, 13: 880-890.

Сродни поглавја

- Алbedo и рефлективност
- Биоклиматологија
- Глобална атмосферска циркулација
- Граничен слој, Климатологија на
- Динамичка климатологија
- Ефект на стаклена градина и стакленички гасови
- Закони на зрачење
- Климатологија
- Сончево зрачење

ЕФЕКТ НА СТАКЛЕНА ГРАДИНА И СТАКЛЕНИЧКИ ГАСОВИ*

Ефектот на стаклена градина е природен феномен што ја загрева Земјата до околу 33°C. Тој е предизвикан од стакленичките гасови во атмосферата (табела E12). Природниот ефект на стаклена градина во моментот е засилен од човековата активност преку ослободување дополнителни стакленички гасови во атмосферата. Согласноста на научната заедница, изразена преку извештаите напишани од Меѓувладиниот панел за климатски промени (IPCC), е дека ова засилување на природниот ефект на стаклена градина предизвикало глобално затоплување во текот на последните 150 години и дека ова затоплување веројатно ќе се забрза во иднина.

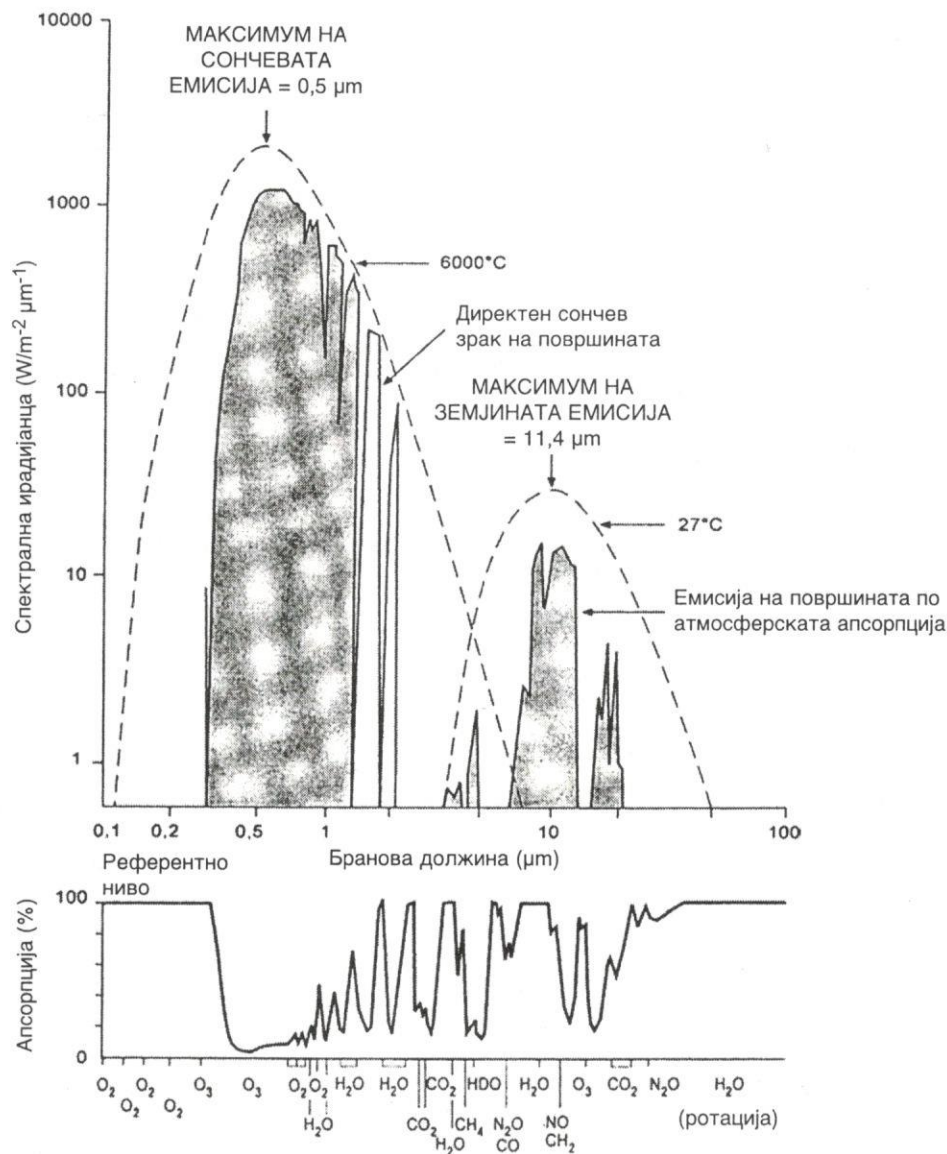
Ефектот на стаклена градина може едноставно да се објасни, иако целосната механика, процесите и повратните спрегги што постојат во климатскиот систем се екстремно комплексни. Сите тела со температура над -273,16°C (позната како апсолутна нула) емитураат електромагнетно зрачење. Клучна карактеристика на електромагнетното зрачење е дека брановата должина на ова зрачење е поврзана со температурата на телото што емитура. Оваа поврзаност, опишана со Планковиот закон, значи дека релативно студените предмети емитураат зрачење со подолга бранова должина во однос на релативно топлиите предмети.

* Главен извор на податоци за ова поглавје претставува извештајот на Работната група I од 2001 (Хоутон и др., 2001) на Меѓувладиниот панел за климатски промени (IPCC), кој обезбедува научна основа за проблемите поврзани со ефектот на стаклена градина. Според тоа, овој текст го претставува конзензуалното мислење на 122 водечки автори и 515 соработници. Многу битни информации, изложени подолу, биле ревидирани од неколку стотици научници од експертски групи, од владини и невладини организации. Пишувајќи ја оваа тема, морав да го упростам и да го збијам извештајот на IPCC, така што искрено би препорачал заинтересираните читатели да ги разгледаат Сумарниот извештај за креаторите на политиката и Техничкиот сумарен извештај на Работната група I, достапни на <http://www.ipcc.ch/pub/spm22-01.pdf> и <http://www.ipcc.ch/pub/wg1TARtechsum.pdf>.

Табела Е12 Список на главните стакленички и нестакленички гасови во атмосферата

Гас	Концентрација
<i>Нестакленички гасови</i>	
Азот	78,1% волуменски однос на мешање
Кислород	20,9% волуменски однос на мешање
Аргон	0,93% волуменски однос на мешање
<i>Стакленички гасови</i>	
Водена пареа	Променлива – ред на величина од 1% волуменски однос на мешање
Јаглерод диоксид	Гас во трагови
Метан	Гас во трагови
Азот субоксид	Гас во трагови
Озон	Гас во трагови
Хидрофлуорокарбонати	Гас во трагови
Перфлуорокарбонати и сулфур хексафлуорид	Гас во трагови

Сонцето има температура од околу $6\,000^{\circ}\text{C}$ и, според тоа, емитира кратkobраново зрачење (познато и како сончево зрачење). На слика Е17 е прикажана крива (позната како Планкова крива или крива на црно тело) која ги опишува сончевите емисии (испрекинатата линија, лева страна). Реалната бранова должина на зрачењето емитирано од Сонцето варира низ широк опсег, но главно е помеѓу $0,15$ и 5 микрометри. Зрачењето на овие кратки бранови должини може да поминува низ атмосферата релативно непречено, како што е прикажано на долниот дел на сликата Е17, при што процентот на апсорпција на брановите должини околу максимумот на сончевите емисии ($0,5$ микрометри) е блиску до нула. На слика Е17 е прикажана и втора крива (полна линија, лева страна) која го покажува зрачењето од Сонцето што навистина стигнува до Земјината површина. Со исклучок на брановите должини пократки од околу $0,3$ микрометри и брановите должини над околу 2 микрометри, износот на зрачењето емитирано од Сонцето што стигнува до врвот на атмосферата е многу сли-



Слика Е17 На горниот дел се прикажани Планковите криви (опсегот и количината на електромагнетното зрачење) емитирани од Сонцето и од Земјината површина (испрекинатата линија). Осенчените области ја покажуваат количината на сончевото зрачење што стигнува на Земјината површина и количината на долгobрановото (Земјино) зрачење што бега во вселената преку атмосферските прозорци. На долниот дел е покажан процентуалниот дел од електромагнетното зрачење што се апсорбира на овие бранови должини. Забележете дека хоризонталната скала на двата дијаграма е иста.

износот што стигнува до Земјината површина. Суштинската разлика во сончевите емисии на бранови должини од 0,3 микрометри и приемот на ова зрачење на Земјината површина се решавачки за животот на Земјата, бидејќи овие бранови должини се познати како ултравиолетово зрачење и се многу опасни. Релативното нестигнување на ова зрачење на Земјината површина е резултат на апсорпцијата на атмосферата, во прв ред од страна на озонот (слика E17, долен дел).

При минување на сончевото зрачење низ атмосферата, дел од него се рефлектира од облаците и од атмосферските гасови, а дел се апсорбира од атмосферата. Од вкупните 1000 W/m^2 на кратkobраново сончево зрачење пристигнатото на површина од атмосферата, 198 W/m^2 стигнува до Земјината површина. Бидејќи севкупната Земјина површина е релативно не-рефлексивна, се рефлектираат само околу 30 W/m^2 , па според тоа 168 W/m^2 се апсорбираат од Земјината површина.

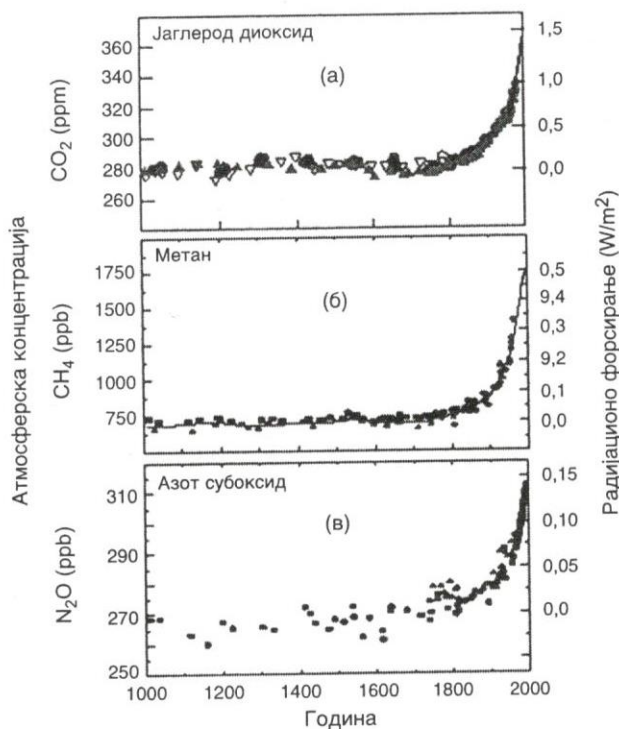
За одржување на приземната енергетска рамнотежа, Земјината површина емитура дел од оваа апсорбирана енергија како долгобраново или Земјино зрачење. На слика E17 се прикажани вкупните емисии од Земјата, вклучувајќи ги и емисиите од атмосферата. Бидејќи Земјината површина е многу изстудена од Сонцето, таа емитура зрачење со подолги бранови должини (главно 3-50 микрометри, види слика E17, десна страна). Атмосферата е релативно понепрозрачна (има поголема апсорпционост) во однос на ова Земјино зрачење, поради стакленичките гасови. Затоа, значителен дел од зрачењето емитувано од Земјината површина се апсорбира во атмосферата и повторно се емитура. Ова е особено јасно прикажано на слика E17 (десна страна), каде што се гледа разликата меѓу ова што би требало да го емитура Земјата во вселената (испрекинатата линија) и она што навистина се емитура (осенчена област). Причина за оваа разлика е присуството на стакленичките гасови во атмосферата. Како резултат на оваа зголемена непрозрачност (слика E17, долен дел), се апсорбира и се ре-емитура поголема количина долгобраново зрачење, а ова влијае во насока на загревање на атмосферата и на Земјината површина. Различните стакленички гасови апсорбираат долгобраново зрачење на одредени бранови должини (слика E17, долен дел). Доколку се ослободи стакленички гас што апсорбира зрачење на бранова должина која што е веќе силно апсорбирана во атмосферата, тогаш ефектот на зголемувањето на овој гас веројатно ќе биде релативно мал (но не и нула). За разлика од ова, ослободувањето на стакленички гас што апсорбира во регион на бранови должини кои се слабо апсорбирани, веројатно ќе има многу поголем ефект. Овие региони на бранови должини каде што атмосферата е слаб апсорбирач на долгобраново зрачење се познати како атмосферски прозорци, при што некои од овие прозорци се делумно „затворени“ под влијание на емисијата на клучните стакленички гасови.

Оваа улога на стакленичките гасови во атмосферата е многу дамнешен природен процес. Ефектот на стаклена градина е главен механизам за објаснување како Земјата останала незамрзната за време на архејскиот период (пред 2,5-3,8 милијарди години), кога, се верува, сончевиот луминозитет бил 30% помал отколку сегашниот (ова е познато како парадокс на слабо сонце). Според постојните мислења, метанот предизвикавал доволно силен ефект на стаклена градина за да муprotivdeјствува на слабото сонце. Низ геолошкото време количината стакленички гасови во атмосферата варираше, водена од долготрајни промени на изворите и понорите на природните стакленички гасови. На пример, за време на последните 160 000 години, јаглеродниот диоксид природно варираше од

под 180 ppmv (делови од милион во единица волумен) (пред околу 40 000 години), до над 300 ppmv (пред околу 140 000 години).

Човековата активност започнала да влијае на Земјата кога луѓето почнале да го користат огнот. Сепак, влијанието на луѓето се засилува кога во Европа, на почетокот на Индустриската револуција (околу 1750 година), започнала масовна употреба на фосилни горива. Согорувањето на фосилни горива засновани на јаглерод во атмосфера богата со кислород, ослободува јаглерод диоксид (CO_2), па, според тоа, од 1750-тите наваму концентрацијата на CO_2 е зголемена од околу 280 ppmv до 375 ppmv (2003), мерено на набљудувачката станица „Мауна Лоа“, која обезбедува висококвалитетна и континуирана низа од податоци (слика E18) (<http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/co2/sio-mlo.htm>). Слично, метанот, азотсубоксидот и низа хемикалии произведени од човекот (хлорофлуорокарбонатите [CFC] и хидрофлуорокарбонатите [HFC]) се исто така зголемени во атмосферата. Во исто време индустриската активност ослободува сулфатни аеросоли во атмосферата.

Пред деталното разгледување на ефектот на стаклена градина, ќе бидат опишани некои детали за овие стакленички гасови, бидејќи тие сочинуваат еден од темелите на загриженост поради засилувањето на природниот ефект на стаклена градина од страна на човековата активност. Основните податоци за главните стакленички гасови се обезбедуваат за одделни стакленички гасови споредени со емисија на килограм јаглерод диоксид. Потенцијалите за глобално затоплување, пресметани за различни временски периоди, ги покажуваат ефектите на атмосферскиот век на различните гасови. Треба



Слика E18 Варијации на а) јаглерод диоксид, б) метан, в) азот субоксид, од илјадитата година наваму. Податоците се изведени од комбинација на мерења вклучувајќи ледени јадра. Во последните неколку декади мерењата се земени директно од атмосферата. На левата скала се менува атмосферската концентрација, а на десната радијационото форсирање (т.е. промената на билансот на зрачење). Оваа слика е преземена од Сумарниот извештај за креаторите на политиката на Меѓувладиниот панел за климатски промени, достапен на <http://www.ipcc.ch/pub/spm22-01.pdf>.

Табела Е13 Разни податоци за главните стакленички гасови

Стакленички гасови	Концентрација (предииндустриска)	Концентрација (1998)	Приближен животен век (години)	Радијационо форсирање (W/m ²)	Потенцијал за глобално затоплување (години во иднина)		
					20	100	500
Јаглерод диоксид	270 ppmv	365 ppm	5-200	1,46	1	1	1
Метан	700 ppbv	1 745 ppb	12	0,48	62	23	7
Азот субоксид	270 ppbv	314 ppb	114	0,25	275	296	156
Хидрофлуорокарбонат-23 (HFC-23)	0 ppt	14 ppt	260		9 400	12 000	10 000
Хлорофлуорокарбонат (CFC-11)	0 ppt	-1,4 ppt	45	0,34		4600	
Перфлуорометан (CF ₄)	40 ppt	80 ppt	50 000		3 900	5 700	8 900

Потенцијалите за глобално затоплување се дадени во однос на јаглерод диоксидот и се показател за проценување на соодветниот придонес во затоплувањето што се должи на емисија на килограм од одреден стакленички гас во споредба со емисија на килограм јаглерод диоксид. Потенцијалите за глобално затоплување пресметани за различни временски периоди го покажуваат ефектот на атмосферскиот животен век на различните гасови. Треба да се забележи дека потенцијалите за глобално затоплување се врз база на килограми од секој стакленички гас. Додека годишно се ослободуваат милијарди тони јаглерод диоксид, количината на ослободените HFC и CFC е многу помала: HFC-134a е од ред на големина $3,2 \times 10^{-5}$ Gt годишно или 1/170 000 од количината на јаглерод диоксидот. Според тоа, дури и по 500 години, јаглерод диоксидот ќе остане многу поважен отколку HFC или CFC во однос на нето-влијанието врз радијационото форсирање, односно промената на билансот на зрачење.

Табела Е14 Глобални биланси на јаглерод диоксид. Позитивните вредности се флуксиви кон атмосферата, а негативните вредности претставуваат одземање од атмосферата (од табела 3.1 и од поврзаниот текст кај Прентис и др., 2001). Види ја и слика Е19.

Јаглерод диоксид	Износ (1980-ти)
<i>Извори</i>	
Емисии од фосилни горива	$5,3 \pm 0,3$ Gt C годишно
Производство на цемент	0,1 Gt C годишно
Промена на земјиштето и негово искористување	1,7 (0,6 до 2,5) Gt C годишно
<i>Понори</i>	
Океанско-атмосферска размена	$-1,9 \pm 0,6$ Gt C годишно
Атмосферско зголемување	$3,2 \pm 0,1$ Gt C годишно
Земен понор	-1,9 (-3,8 до 0,3) Gt C годишно

Табела Е15 Главни антропогени извори и главни понори на глобалниот биланс на метанот (изведени од табела 4.2 и од поврзаниот текст кај Пратер и др., 2001). Види ја и слика Е19.

Метан (CH ₄)	Износ (1980-ти)
<i>Извори</i>	
Производство на енергија	75-110 T _g CH ₄ годишно
Депонии	35-73 T _g CH ₄ годишно
Преживари	8-150 T _g CH ₄ годишно
Производство на ориз	25-100 T _g CH ₄ годишно
Согурување на биомасата	23-55 T _g CH ₄ годишно
Вкупно (антропогено)	300-500 T _g CH ₄ годишно
<i>Понори</i>	
Почва	10-44 T _g CH ₄ годишно
ОН во тропосферата	450-510 T _g CH ₄ годишно
Загуби во стратосферата	40-46 T _g CH ₄ годишно
Вкупно	460-580 T _g CH ₄ годишно

да се обрне внимание дека потенцијалите за глобално затоплување се на основа на килограми од секој стакленички гас. Додека годишно се ослободуваат милијарди тони јаглерод диоксид, количината на ослободени HFC и CFC е многу помала: HFC-134a е од ред на големина од $3,2 \times 10^{-5}$ Gt годишно или 1/170 000 од количината на јаглерод диоксидот. Според тоа, дури и по 500 години, јаглерод диоксидот ќе остане многу поважен отколку HFC или CFC во однос на нето-влијанието врз билансот на зрачење.

Стакленички гасови и аеросоли

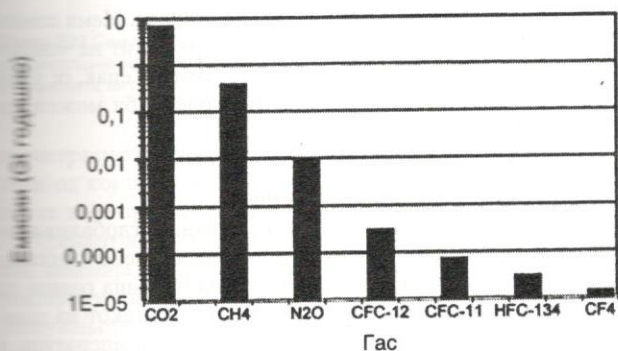
Јаглерод диоксидот во атмосферата е зголемен за 32% помеѓу 1750 година (280 ppmv) и 1998 година (365 ppmv) (слика Е18а и табела Е13); овој пораст се должи на човековата активност. Сегашното ниво на CO₂ не е надминато во текот на изминатите 420 000 години, а не е веројатно ниту дека било надминато во изминатите 20 милиони години. Стапката на пораст во текот на изминатиот век не е надмината барем во последните 20 000 години. Поголемиот дел од ова зголемување на CO₂ (околу 75%) потекнува од употребата на фосилни горива; остатокот, во голема мера, е резултат на обесшумување (дефорестација) (табела Е14). Понорите на CO₂ во земјата и во океаните моментално одземаат околу 50% од CO₂ што е ослободен како резултат на човековата активност, а останатите 50% се акумулираат во атмосферата. Од глобално добро измешаните стакленички гасови, CO₂ придонесува за околу 60% од засилувањето на природниот ефект на стаклена градина. Ова засилување се мери преку влијанието врз радијационото форсирање (количината зрачење расположлива за придвижување на климатскиот систем). Во случајот на CO₂ зголемувањето на радијационото форсирање изнесува 1,46 W/m². Молекула на CO₂ ослободена во атмосферата останува таму меѓу 5 и 200 години (животен век или резидентно време), во зависност од природата на евентуалниот понор.

Се зголемува и концентрацијата на метанот (CH₄) во атмосферата, и тоа за околу 150% меѓу 1750 година (700 ppbv [делови од милијарда во единица волумен]) и 1998 година 1745 ppbv) (табела Е13, слика Е18). Животниот век на CH₄ во атмосферата изнесува околу 12 години. Речиси половина од ослободениот CH₄ е резултат на човекова активност (главно од употреба на фосилни горива, земјоделство, депонии итн.) (табела Е15). Од глобално добро измешаните стакленички гасови, CH₄ придонесува за околу 20% од засилувањето на природниот ефект на стаклена градина (зголемување на радијационото форсирање од 0,48 W/m²). Метанот се отстранува од атмосферата преку хемиски реакции. Табела Е13 го покажува потенцијалот за глобално затоплување на CH₄ во споредба со CO₂. Еден килограм CH₄ испуштен во атмосферата, по 20 години ќе има 62 пати поголем потенцијал за глобално затоплување отколку килограм CO₂ (табела Е13). По 100 години потенцијалот за глобално затоплување на килограм CH₄

бидејќи 23 пати поголем од оној на исто толку CO₂, а по 500 години само 7 пати поголем. Ваквата промена на потенцијалот за глобално затоплување го одразува фактот дека атмосферскиот животен век на CH₄ е релативно пократок, додека вкупниот поголем потенцијал за глобално затоплување во споредба со CO₂ ја одразува улогата на CH₄ во заробување на долговреметрајното зрачење во атмосферските прозорци. Сепак, бидејќи вкупната антропогена емисија на CH₄ е приближно 5% од емисиите на CO₂ (слика E13), реалното влијание на CO₂ ќе остане многу поголемо во однос на она од CH₄.

Најпосле, големата фамилија на халокарбонати претставува група од стакленички гасови со многу долг животен век. Како последица од Монреалскиот протокол, концентрацијата на некои од овие гасови опаѓа (на пр., CFC-11) или се зголе-

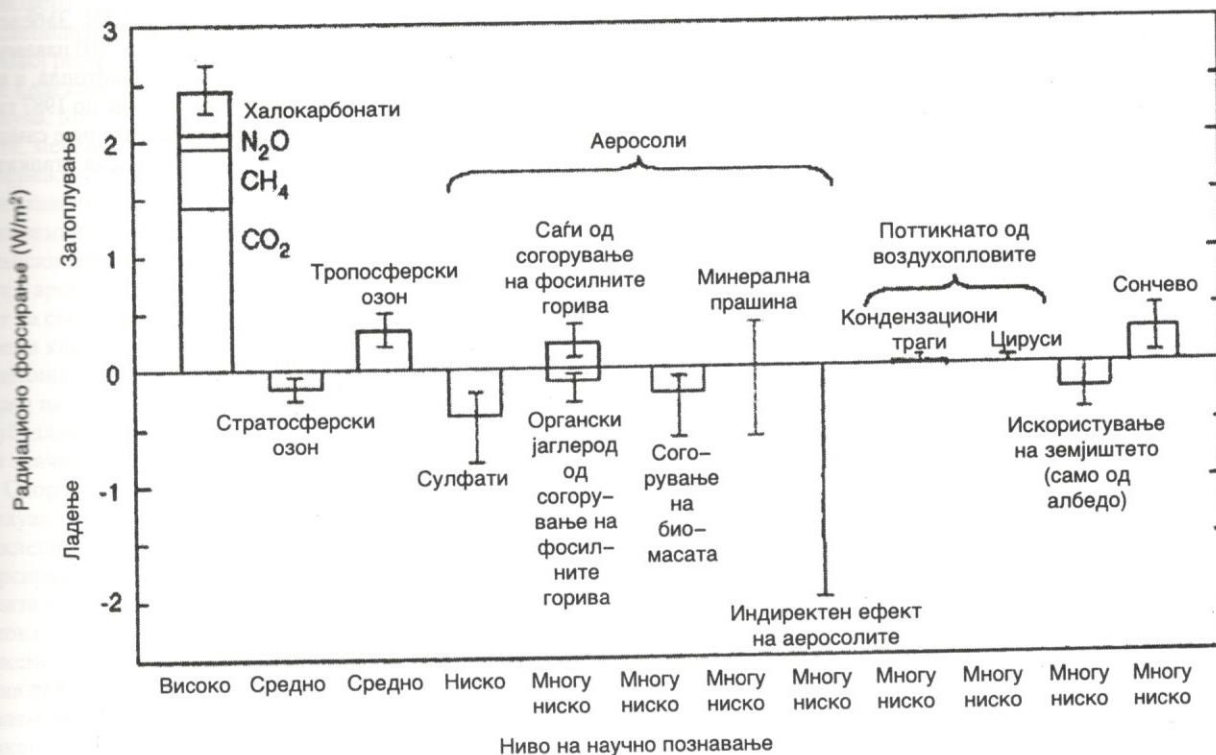
мува побавно (на пр., CFC-12) отколку во 1990-тите. Од глобално добро измешаните стакленички гасови, фамилијата на халокарбонати придонесува за околу 14% од засилувањето на природниот ефект на стаклена градина и го зголемува радијационото форсирање за 0,34 W/m². Овие гасови се отстрануваат од атмосферата кога ќе се распадат молекулите во стратосферата под влијание на ултравиолетовото зрачење. За жал, ова доведува до ослободување бром и хлор, кои придонесуваат за деградација на озонот во стратосферата. Распаѓањето на молекулите обично се одвива бавно, така што многу од овие хемиски супстанции имаат долг атмосферски животен век. Вообичаено, HFC варираат меѓу неколку месеци (HFC-161) до неколку столетија (HFC-23). Некои гасови (познати како целосно флуоризирани видови) имаат атмосферски животен век од илјадници години, при што атмосферскиот животен век на перфлуорометанот надминува 50 000 години. Тоа значи дека овие гасови можат да имаат многу големи по-



Слика E19 Вкупна антропогена емисија на разновидни стакленички гасови (прегледано во Gt годишно). Скалата на вертикалната оска е логаритмска. HFC-134 е хидрофлуорокарбонат-134, а CF₄ е перфлуорометан. Податоците се од различни години од 1990-тите.

Табела E16 Главни антропогени извори и главни понори на глобалниот биланс на азот субоксидот (изведени од табела 4.4 и од поврзаниот текст кај Пратер и др., 2001). Види ја и слика E19.

Азот субоксид (N ₂ O)	Износ (1980-ти)
<i>Извори</i>	
Земјоделска почва	0,6–14,8 TgN годишно
Согорување на биомасата	0,2–1,0 TgN годишно
Индустриски извори	0,7–1,8 TgN годишно
Добиток и фарми за говење	0,6–3,1 TgN годишно
Вкупно (антропогено)	2,1–20,7 TgN годишно
<i>Понори</i>	
Загуби во стратосферата	9–16 TgN годишно



Слика E20 Средна глобална промена на радијационото принудно дејство или форсирање на климатскиот систем помеѓу 1750 и 2000 година. Позитивните вредности подразбираат затоплување, а негативните ладење. Сликата е преземена од Сумарниот извештај за креаторите на политиката на Меѓувладината панел-група за климатски промени, достапен на <http://www.ipcc.ch/pub/spm22-01.pdf>.

тенцијали за глобално затоплување (табела E13), како поради тоа што тие ќе останат во атмосферата за време на долг период така и поради тоа што тие обично апсорбираат долгобраново зрачење со бранови должини за кои атмосферата моментално е релативно прозрачна.

Во однос на засилениот ефект на стаклена градина, клучната мерка за важноста на секој поединечен гас е улогата што ја има тој во радијационото принудно дејство или во форсирање на климата (енергијата расположлива за придвижување на климатскиот систем). Многу фактори се сменети од 1750 година наваму, па сите тие треба да се сметаат како потенцијални влијанија врз климатскиот систем. Доколку радијационото форсирање се зголемува, тогаш е веројатно да се јави затоплување и обратно, намалување на радијационото форсирање веројатно ќе доведе до ладење на планетата.

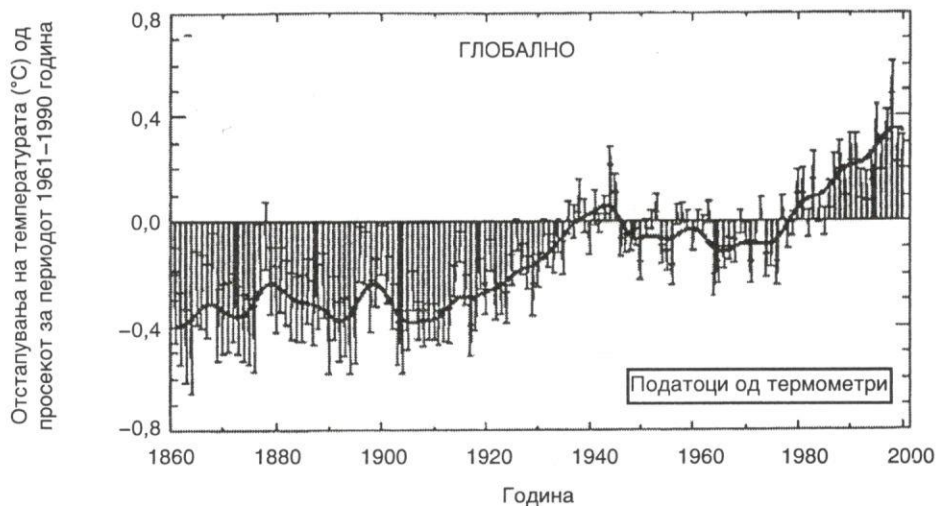
На слика E20 се прикажани промените на радијационото форсирање од 1750 година до денес. Главниот придонес во зголемувањето на радијационото форсирање доаѓа од порастот на глобално добро измешаните стакленички гасови (CO_2 , CH_4 , N_2O и халокарбонатите), кои здружено придонесуваат за околу $2,5 \text{ W/m}^2$ од радијационото форсирање. Слика E20 покажува и многу други аспекти на промените во климатскиот систем од 1750 година па наваму, кои придонесуваат во радијационото форсирање. Повеќето од нив најверојатно нема да бидат значаен фактор за климата во иднина во споредба со влијанието на стакленичките гасови. Сепак, постои низа од прашања вредни да се споменат. Промените во озонот (O_3) довеле до ладење на стратосферата (каде што се јавува најголемиот дел од осиромашувањето на озонскиот слој), што во определена мера го намалува набљудуваното тропосферско затоплување предизвикано од стакленичките гасови. Улогата на аеросолите е исто така многу значајна, но многу слабо проучена. Постојат два начина на кои аеросолите влијаат на радијационото форсирање: а) директен ефект, преку кој аеросолите расејуваат и апсорбираат сончево и топлотно долгобраново зрачење, и б) индиректен ефект, преку кој аеросолите ги модифицираат микрофизичките, а оттука и радијационите својства и количината на облаците. Главен извор на атмосферски аеросоли е емисијата на сулфати од индустријата. Тие

го рефлектираат упадното сончево зрачење, и на тој начин создаваат негативно радијационо форсирање, кое делумно го компензира ефектот на зголемувањето на стакленичките гасови. Се верува дека ова придонело за намалување на износот на затоплување набљудувано од 1860 година наваму. Сепак, ова не претставува позитивен факт, бидејќи овие сулфатни аеросоли влијаат на квалитетот на воздухот и се причина за киселите дождови. Најдобрата постојна проценка на улогата на директниот и на индиректниот ефект на аеросолите е дадена на слика E20, но треба да се нагласи дека овие проценки сè уште се доста непрецизни.

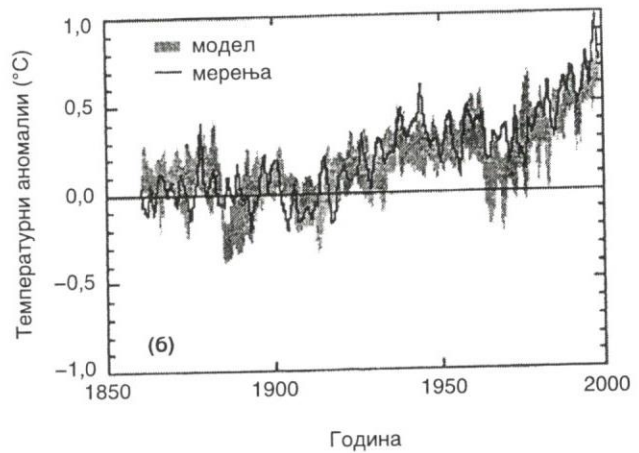
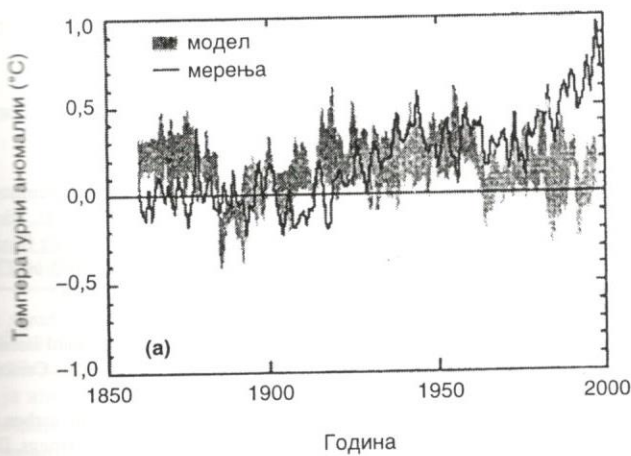
Накратко, промените на атмосферската концентрација на добро измешаните стакленички гасови од 1750 година наваму се многу добро познати. Нивното влијание врз радијационото форсирање е исто така добро познато. Влијанието на порастот на CO_2 , CH_4 , N_2O и халокарбонатите се состои во засилување на природниот ефект на стаклена градина. Нема сомнение дека ова засилување, како директен резултат на човековата активност, води кон климатски промени. Сепак, сè уште се поставуваат прашања за тоа колку големи би можеле да бидат овие промени.

Влијанија од 1750 година до денес

Земјината површина се затоплува. Просечната глобална приземна температура (со мерења земено над копнени и океански површини) е зголемена од 1861 година (најрана година со веродостојни мерења) наваму (слика E21). Во текот на дваесеттиот век просечната глобална приземна температура е зголемена за $0,6 \pm 0,2^\circ\text{C}$. Многу е веројатно дека последната декада од XX век (1990-тите) е најтоплата декада, а 1998 најтоплата година, според инструменталните мерења од 1861 наваму. Просечната глобална приземна температура во 2002 година има вредност втора по големина од 1861 година, приближно $0,5^\circ\text{C}$ над просекот за периодот 1961–1990. Забележително е тоа што, додека најтоплата година од 1860 наваму останува 1998, 2002 е втора најтопла, 2001 трета најтопла, а и сите 10 најтопли години од 1860 наваму се случиле по 1987 година. Сепак, она што ги загрижува климатолозите не е само износот на затоплувањето. Многу е веројатно дека стапката и



Слика E21 Комбинирани годишни аномалии на приземната температура на воздухот над копно и температурата на површината на морето ($^\circ\text{C}$) од 1861 до 2000, во однос на периодот 1961–1990 година. Стандардната грешка е прикажана во вид на вертикални црти врз годишната вредност. Графикот е преземен од Техничкиот сумарен извештај на Работната група и од Меѓувладиниот панел за климатски промени, достапен на <http://www.ipcc.ch/pub/wg1TARtechsum.pdf>



Слика E22 Симулација на варијациите на температурата на Земјата со употреба на климатски модел, а) без вклучување на ефектите на зголемената концентрација на стакленички гасови и б) со вклучување на овие ефекти. Двете симулации ги вклучуваат ефектите на сончевите варијации и вулканската активност.

вземањето на затоплувањето во текот на XX век се поголеми од кој било период во последните 1 000 години, дури и ако се земе предвид непрецизноста на податоците.

Трендот на затоплување може да се истражува и географски, деценија по деценија. Анализа на годишните трендови на температурните мерења открива видливо забрзување на затоплувањето во последните децении. Меѓу 1901 и 2000 година, поголемиот дел од Земјата покажува затоплување од приближно 0,2°C по деценија. Затоплувањето било побрзо помеѓу 1910 и 1945 година. Мешан режим на затоплување и ладење е видлив меѓу 1946 и 1975 година, следен од многу брзо затоплување, особено над континенталните површина на северната хемисфера меѓу 1976 и 2000 (види <http://www.ipcc.ch/pub/wg1/TARtechsum.pdf>, слика E19).

Овој режим на регионална промена е едно парче од широката колекција од докази што покажуваат дека Земјата се затоплува. Мерењата на количината топлотна енергија во океаните, мерењата од метеоролошките балони, набљудувањата на врнежите, атмосферската влага, снежната покривка, континенталниот мраз, морскиот мраз, морското ниво, промените на земните екосистеми и набљудуваните промени во некои океански циркулациони шеми, како и климатската варијабилност и временските и климатските екстреми – сите тие укажуваат на свет што се затоплува. Ниту еден поединечен доказ не се зема како доволен сам по себе, но кога ќе се разгледаат како целина, земајќи ја предвид просторната и временската еволуција на сите овие аспекти на климата, доказите се навистина убедливи дека засилениот ефект на стаклена градина води кон значителни климатски промени.

Според тоа, постојат убедливи докази дека Земјата се затоплува, а постојат и теоретски докази дека промените во стакленичките гасови доведуваат до пораст на радијационото форсирање. Можеме ли да ги соединиме овие две парчиња од докази и набљудуваното затоплување да го припишеме на човековата активност? Алтернативното прашање би гласело: можеме ли да ги објасниме набљудуваните промени на климата на друг начин – начин што не го вклучува набљудуваното зголемување на радијационото форсирање како резултат на стакленичките гасови?

Процесот со кој се покажува дека некоја набљудувана промена во климатскиот систем е статистички значајно различна во однос на природните промени, се нарекува *дејекци-*

ја. Процесот на поврзување на причината (на пр., засилениот ефект на стаклена градина) со ефектот (на пр., климатски промени) при одредено ниво на веродостојност, се нарекува *атрибуција* или *припишување*. Во изминатите 5 години е вложен темелен напор во обидите да се детектира отисокот на човековата активност врз климата, а потоа овие набљудувани промени во климата да ѝ се припишат на човековата активност.

Климата природно варира, и тоа го прави милијарди години наназад. Оваа природна климатска варијабилност вообичаено се нарекува „шум“, па клучното прашање е дали моментално набљудуваните промени во климата се само „шум“ или претставуваат „сигнал“ индуциран од човекот, што е статистички невообичаен. Исто така, важно е да се покаже дека кој било „сигнал“ е предизвикан од промени индуцирани од човекот, како и дека сигналот е со приближно очекуваната големина со оглед на промените во стакленичките гасови во атмосферата.

Во моментот (2003), се чини дека температурните промени набљудувани во текот на изминатите 100 години не можат целосно да бидат природни по потекло – скорешните глобално осреднети температури ги надминуваат реконструкциите на температурата во текот на последните 1 000 години, дури и ако се земе предвид факторот на несигурност во тие реконструкции. Исто така, и докази од климатските модели покажуваат дека е многу неверојатно затоплувањето набљудувано од 1850 година наваму да се должи на природната варијабилност, бидејќи климатските модели не се затоплуваат со стапката забележана од 1860 наваму за временскиот период во кој мерењата покажуваат дека Земјата се затоплила. Ова е илустрирано на слика E22a, каде што е искористен климатски модел без промени на концентрацијата на стакленички гасови и аеросоли. Под овие услови, климатскиот модел реагира на природната варијабилност (поттикната од сончевата и од вулканската активност) и не покажува никаков тренд на температурата, за разлика од измерените податоци (слика E22a) што го покажуваат истиот нагорен тренд што се гледа на слика E21. Сепак, доколку овие природни процеси се здружат со промените на атмосферската концентрација на стакленички гасови и аеросоли, климатскиот модел покажува извонредна способност за симулирање на набљудуваните промени на температурата од 1850 наваму (слика E22b). Климатските модели

никогаш не покажуваат тренд на затоплување што се совпаѓа со набљудуваниот по 1850 година, освен ако во моделот не се зголемат стакленичките гасови. Ова не е доказ дека набљудуваното затоплување е предизвикано од порастот на стакленичките гасови, но претставува уште еден цврст поткрепувачки доказ дека човековата активност е причинител на зголемувањето на приземната температура.

Накратко, ниту еден доказ не е тотално убедлив дека луѓето се причинители на набљудуваните промени на климата. Сепак, кога ќе се разгледаат сите докази заедно, станува многу веројатно дека најголемиот дел од набљудуваното затоплување, барем во текот на последните 50 години, се должи на зголемувањето на концентрацијата на стакленички гасови предизвикано од човековата активност. Вреден за споменување е и уште еден доказ. Многу е тешко да се оспори веродостојноста на набљудуваната низа податоци, која прецизно е изведена од многубројни независни извори. Нашето сознание за засилениот ефект на стаклена градина во голема мера може да ја објасни ваквата низа од податоци. Немаме алтернативно објаснување за набљудуваните промени. Не постои познато објаснување за сите промени што се одвиваат во Земјиниот екосистем - морското ниво, ледниците, снежната покривка, температурата, врнежите итн. - освен засилениот ефект на стаклена градина. Научно е оправдано критички да се разгледува влијанието на засилениот ефект на стаклена градина, па доколку сакаме да го замениме засилениот ефект на стаклена градина како причина за набљудуваните промени во климата,

тогаш ќе мора да биде развиена алтернативна теорија која објаснува набљудуваниот феномен.

А.Ц. Перков

Библиографија

- Prather, M., Ehhalt, D., Dentener, R, et al., 2001. Atmospheric chemistry and greenhouse gases. In Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., et al., eds., *Climate Change 2001: the scientific basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 239-287.
- Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., et al., eds., 2001. *Climate Change 2001: the scientific basis*. Contribution of Working Group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- Prentice, I.C., Farquhar, G.D., Fasham, M.J.R., et al., 2001. The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide. In Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., et al., eds., *Climate Change 2001: the scientific basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 183-257.

Сродни поглавја:

- Аеросоли
Влијание на климатските промени: потенцијални еколошки и општествени последици
Глобални промени во животната средина: влијанија
Зрачење, Климатологија на
Модели, Климатски