

ГЛОБАЛНОТО ЗАТОПЛЯНЕ

Маргарита Сиракова*

Понятието "климат" датира отпреди повече от 22 века, като съдържанието му непрекъснато се е променяло. Във всички случаи обаче под "климат" се е разбирало и се разбира някакво обобщено състояние на атмосферата, представено чрез различни статистически характеристики на метеорологичните елементи (средни стойности, отклонения от тях и т.н.), за разлика от "времето", което е конкретното състояние на атмосферата, възприемано непосредствено. През дългия период на съществуването и развитието си климатологията е отговаряла на въпроса "колко", т.е. изчислявала е тези изключително необходими за различни области на човешката дейност характеристики на атмосферата. Изпълнявайки такива "счетоводни" функции в метеорологията обаче, тя постепенно загубва престиж на фона на развитието на другите науки.

Интересът към климатологията се повишава силно през последните 20-25 години. Една от причините за това са зачестилите аномалии на времето и климата в различни части на земното кълбо (продължителни засушавания, резки застудявания, наводнения и т.н.), водещи понякога до тежки икономически и социални последици, особено в слаборазвитите страни. Другата причина е ясното осъзнаване на факта, че хората със своята дейност оказват влияние върху климата. Всичко това налага колкото е възможно по-бързо да се решат някои въпроси, свързани с естествените и антропогенните (причинени от човешката дейност) изменения на климата.

За целта трябва да се разберат механизмите, които създават климата на Земята и които контролират неговите изменения, т.е. съвременната климатология освен на въпроса "колко" трябва да отговори и на въпроса "как". При това, когато се интересуваме от формирането на климата, атмосферата не може да се третира като затворена система, а трябва да се разглежда като част от една обща система "атмосфера – подложна повърхност", наречена климатична система. Пълната климатична система се състои от пет звена: атмосфера (въздушната обвивка на Земята), хидросфера (океаните и моретата), литосфера (сушата), криосфера (ледената и снежната покривка) и биосфера (растителните и животинските организми и

* доц. д-р, Физ. факултет на СУ "Св. Кл. Охридски"

остатъците от тях). Това разделяне се налага поради различните физични свойства на тези среди: плътност, топлинен капацитет, топлопроводност, отразителна способност, подвижност и т.н., което определя и тяхното различно поведение. В единна система ги обединяват непрекъснато осъществяващите се между тях взаимодействия – обмен на топлина, вещество, импулс.

За процесите на Земята практически единствен източник на енергия е слънчевата радиация, достигнала до горната граница на атмосферата. Част от нея се превръща в топлина, която в явен (като степен на нагрятоост) или в скрит вид (скрита топлина на фазовите преходи на водата) се пренася между различните части на климатичната система. Може да се каже, че физическата основа на климата са процесите на непрекъснатия приток, натрупване, пренасяне и разход на топлина. Те се контролират както от нееднородностите на подложната повърхност (океани и континенти, лед и сняг, релеф и растителност и т.н.), така и от състава на въздуха, и от движенията в атмосферата и океана.

Един от основните съвременни проблеми на климатологията е глобалното затопляне и оценката за антропогенния принос в този процес. Същността му е в това, че всичко, което оказва влияние върху радиационните процеси, може да доведе до преразпределение на енергията в климатичната система и в крайна сметка до промяна на климата. Един от възможните фактори за такава промяна е настъпилата вече промяна в състава на атмосферата в резултат на човешката дейност.

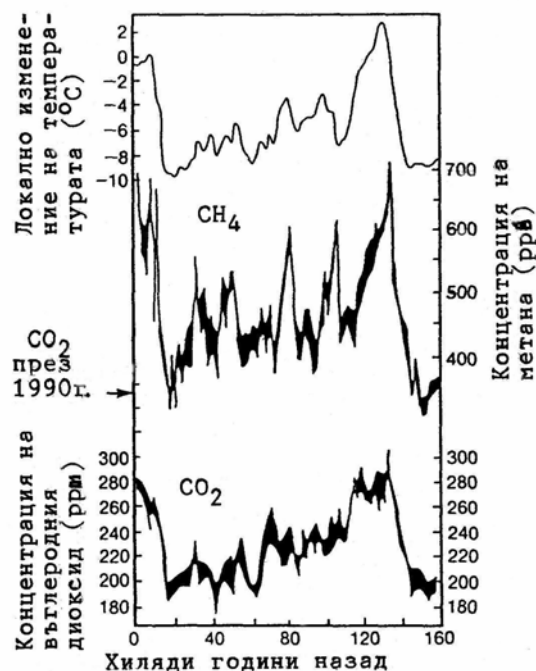
Важна за климата особеност на атмосферата е, че се отнася по различен начин към лъченията с различна дължина на вълната. Около 99% от енергията на слънчевото излъчване е в интервала от дължини на вълните между 0,15 и 4 μm , като при температурата на слънчевата повърхност (около 6000 K) максимумът на слънчевия спектър е във видимата област ($\lambda = 0,39 - 0,76 \mu\text{m}$). Много малка част от това лъчение (главно в ултравиолетовата и инфрачервената област, на които се пада малка част от общия поток) се поглъща от атмосферата, затова се смята, че тя е прозрачна за слънчевата радиация. Поглъщайки част от достигналата до нея слънчева радиация, земната повърхност се нагрява и става източник на лъчение. В съответствие с температурата ѝ, около 99% от енергията на земното излъчване е в диапазона от дължини на вълните между 4 и 100 μm с максимум около 10 μm . Попадайки в атмосферата, това инфрачервено (топлинно) излъчване се

поглъща почти изцяло, само около 10% се губи в космоса, преминавайки през т.нар. "атмосферен прозорец" - диапазона от дължини на вълните между 8 и 12 μm . Поглъщането се осъществява не от основните газови компоненти на въздуха, а от някои газове с много малки концентрации, наречени поради това си свойство термодинамично активни или парникови газове. На първо място между тях е водната пара, но значителен принос имат и въглеродният диоксид (CO_2), а в по-малка степен и озонът (O_3), метанът (CH_4), диазотният оксид (N_2O) и хлорофлуоровъглеводородите, известни като фреони (CFC), които започват да се синтезират през 30-те години на този век.

Поглъщайки земната радиация, атмосферата се нагрива (всъщност голяма роля в нагриването ѝ от подложната повърхност играят и други механизми) и на свой ред излъчва дълговълнова радиация във всички посоки. Лъчението, което е насочено надолу, почти изцяло се поглъща от земната повърхност и това компенсира до известна степен загубите. Така се получава "капан" за дълговълновата радиация близо до земната повърхност, в резултат на което нейната средна глобална температура при сегашните условия е 15 °C вместо – 18 °C, каквато би била, ако нямаше атмосфера, т.е. с 33 °C по-висока. Този на пръв поглед парадоксален факт е известен като "парников ефект" и благодарение на него е възможен животът на Земята, поне в познатите му форми. За сравнение на Марс с неговата тънка атмосфера парниковият ефект повишава температурата с около 3 °C, а на Венера с нейната плътна атмосфера от CO_2 - с около 470 °C.

Парниковият ефект не е в противоречие със закона за запазване на енергията. Той води само до преразпределение на радиационната енергия в системата земя-атмосфера. Насоченото нагоре излъчване попада в по-високите слоеве, които поглъщат част от него и го произлъчват и т.н. Тези слоеве постепенно обедняват на парникови газове и загубите на дълговълнова радиация се увеличават, като са най-големи от слоевете на височина 6-10 km. Общите загуби на енергия от системата земя-атмосфера включват тези загуби, преминалата през атмосферния прозорец дълговълнова радиация и отразената от земната повърхност и от атмосферата (най-вече от облаците) слънчева радиация. Средно годишно общите загуби са равни на достигналата до горната граница на атмосферата слънчева радиация, така че Земята като планета е в радиационно, а следователно и в топлинно равновесие (защото не обменя топлина с космическото пространство по друг начин).

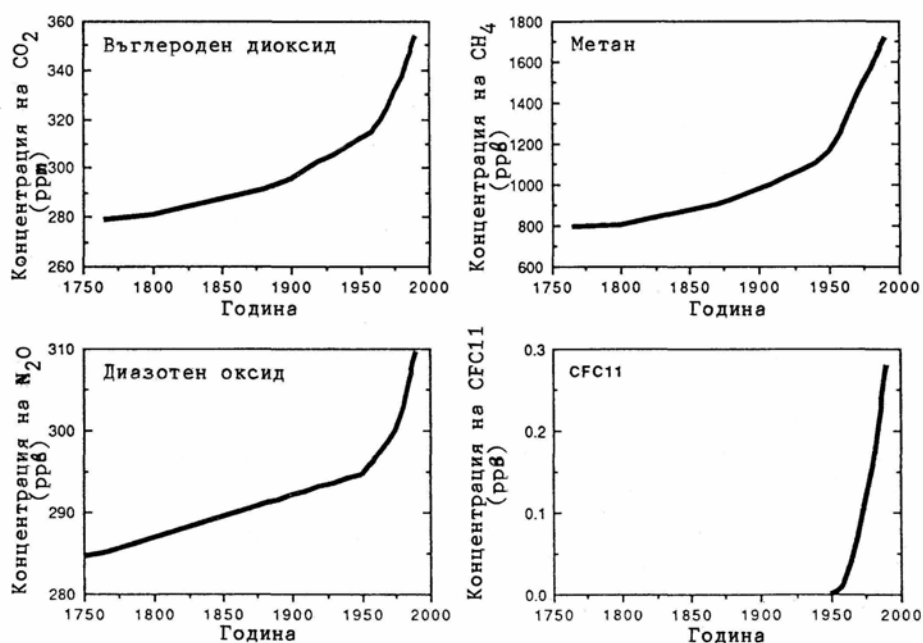
Парниковият ефект не е ново явление. Стотици милиони години той е оказвал влияние върху температурата, като ту се е усилвал, ту е отслабвал и тези промени до голяма степен са следвали промените в концентрацията на CO_2 , свързани с естествени фактори (вулканична дейност, растителност и др.). Доколко тясна е връзката между съдържанието на CO_2 в атмосферата и температурата може да се съди от следните примери. През последните 600 млн. години (фанерозоя) периодите с рязко увеличаване на CO_2 в резултат на повишена вулканична активност доста добре се съгласуват с топлите (без постоянен лед и сняг) епохи, а периодите с намалена концентрация на CO_2 - със студените епохи (в които има постоянен лед и сняг около полюсите).



Фиг. 1. Изменения на температурата и на концентрациите на въглеродния диоксид и метана през последните 160 000 години (до Индустриалната революция) по данни от сондажите в леда на Антарктида; посочена е съвременната концентрация на CO_2 [2].

Също така, като се проследи кривата на изменение на температурата през последните 160 хил. години, получена от изотопния анализ (съотношението $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) на леда, изваден от дълбочина 2000 m в Антарктида, се вижда, че тя доста добре следва кривите на концентрациите на CO_2 и CH_4 , получени при анализа на мехурчетата въздух, запечатани в леда на тези дълбочини (Фиг. 1).

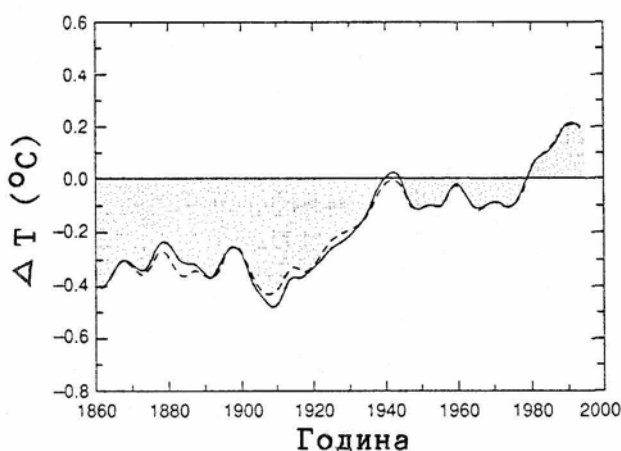
Когато се говори за глобално затопляне, свързано с човешката дейност, обикновено се има предвид усилването на парниковия ефект в резултат на увеличената концентрация на парникови газове, на първо място на въглероден диоксид (Фиг. 2). Анализът на мехурчетата въздух "консервирани" в полярните ледове показва, че по време на последния ледников период от кватернера (последната студена епоха) концентрацията на CO_2 е била 180-200 ppm (ppm - parts per million; 1 ppm = 10^{-4} %). След края на този период (т.е. преди 10-12 хил. години) тя се е повишила докъм 280 ppm и почти не се е променяла до Индустриалната революция, т.е. докъм началото на XIX в. Оттогава насам в резултат на изсичането на горите и изгарянето на все по-големи количества изкопаеми горива съдържанието на CO_2 в атмосферата започва да се увеличава - отначало бавно, а през XX в. с все по-нарастващи темпове. При започването на редовните измервания на концентрацията на CO_2 през 1957 г. тя е била 310 ppm, а през 1990 г. е достигнала 353 ppm. Това означава, че от времето на Индустриалната революция досега въглеродният диоксид в атмосферата се е увеличил с 25 %. Засега обаче темповете на увеличаване на CO_2 в атмосферата са по-бавни от темповете на увеличаване на производството му в процеса на горенето, защото все още океанът поглъща голяма част от попадналия в атмосферата CO_2 . Но тъй като възможностите на океана да поглъща CO_2 зависят от неговата температура, има опасност с повишаване на температурата на водата в резултат на глобалното затопляне те да намалее.



Фиг. 2. Концентрациите на основните парникови газове от средата на XVIII в. насам (CFC се появяват след 1930 г.) [2].

Оценките за другите газове показват следното (Фиг. 2). Метанът се е увеличил около 2 пъти - от 800 ppb в началото на XIX в. до 1700 ppb през 1990 г., диазотният оксид се е увеличил с около 8% - от 280 ppb до 310 ppb, а количеството на двата най-разпространени вида фреони (CFC-11 и CFC-12) сега е около 0,8 ppb. (ppb - parts per billion, $1 \text{ ppb} = 10^{-3} \text{ ppm}$). Концентрациите на тези газове са значително по-малки, отколкото на CO₂, но те са много по-ефективни от него - метанът около 21 пъти, а CFC-11 около 12 000 пъти. Като се вземат предвид степента на въздействие на различните газове върху земното излъчване и тяхното време на престой в атмосферата, се получава, че засега приносът на произведения от човека CO₂ за усилването на парниковия ефект е 55 %, на CH₄ – 15 %, на N₂O – 6 %, на CFC (всички видове) – 24 %. За удобство, когато се оценява усилването на парниковия ефект и последиците от него, приносът на всички газове се отчита като еквивалентна концентрация на въглеродния диоксид.

Предположението, че изгарянето на изкопаеми горива ще предизвика натрупване на въглероден диоксид в атмосферата, което може да доведе до затопляне на земната повърхност, е направено още в края на миналия век от шведския учен Сванте Арениус. Интересът към този проблем днес силно се е увеличил поради факта, че направените през последните години прецизни оценки показват, че за времето на инструменталните наблюдения (последните 100-150 години) средната глобална температура се е увеличила с около 0,6 °C (Фиг. 3). Наистина този процес не е равномерен и не следва съвсем точно промените в съдържанието на парниковите газове - има и периоди на известно захлаждане (например през 60-те години). Това е така, защото освен промените в парниковия ефект има и други процеси, оказващи влияние върху хода на температурата, и много от тези процеси са естествени. Общата тенденция за затопляне обаче е достатъчно ясна, за да дава основание за задълбочени изследвания, имащи за цел да установят големината на антропогенния принос и да го отделят на фона на естествените изменения на климата.



Фиг. 3. Средни глобални аномалии на температурата (отклонения от средните $-\Delta T$) спрямо периода 1961 - 1990 гг. [3]

Днес тази задача се решава с помощта на математични модели, описващи сложните процеси и взаимодействия в климатичната система. Те се подчиняват на общи физични закони (за излъчване и

поглъщане, за запазване на импулса, масата, енергията), които се изразяват чрез система от уравнения за промените на различни метеорологични величини в пространството и с времето. При зададени стойности на "външните" параметри, т.е. на факторите, от които зависи състоянието на климатичната система, се получава някакво "равновесно" състояние (това е "климатът"), около което се извършват колебания с различни честоти и амплитуди, но няма систематични изменения. Тези "външни" фактори включват разпределението на притока на слънчева радиация, особеностите на подложната повърхност, включващи и растителността, състава на атмосферата и др.

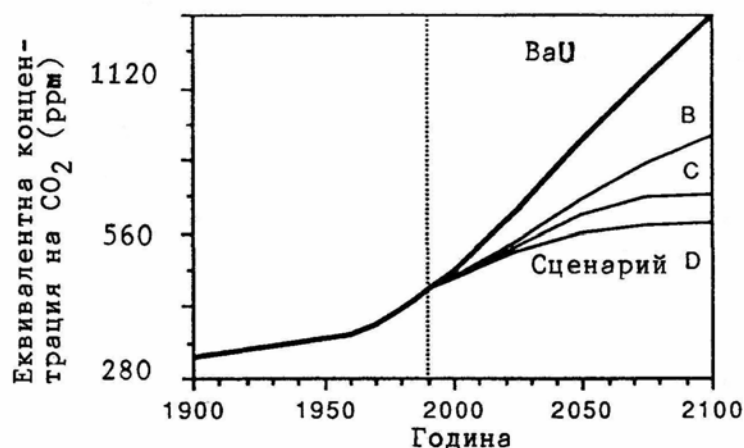
Както беше казано в началото, освен процесите в атмосферата трябва да се опишат процесите и в другите звена на климатичната система, защото между тях съществуват сложни взаимодействия - механизми на обратни връзки. Това значи, че промени в едно от звената на системата води до промени в някое (или някои) от другите, те, на свой ред, предизвикват промени в първото и т.н. При това първоначалното отклонение може да бъде усилено (положителна връзка) или намалено (отрицателна връзка). Отрицателните обратни връзки поддържат системата в равновесие, докато положителните, ако не се прекъснат от никакви други процеси, могат да доведат до необратимо изменение на климата. Много важна за климата например е връзката между криосферата и температурата. Снежната и ледената покривка, която се образува при ниски температури, има голяма отражателна способност, поради което поглъща много малка част от достигналата до нея слънчева радиация, така че температурата остава ниска, дори продължава да се понижава, площта, покрита със сняг и лед, се увеличава и т.н. Във връзка със съвременното затопляне е важна връзката между температурата и влагосъдържанието на въздуха. Колкото е по-висока температурата, толкова по-голямо количество водна пара може да се съдържа във въздуха, това ще доведе до усиление на парниковия ефект, а оттам до повишение на температурата, увеличение на влагосъдържанието и т.н. Отрицателните обратни връзки могат да се илюстрират със следната опростена идеализирана схема. При липса на облаци притокът на слънчева енергия до океанската повърхност е голям, температурата ѝ се повишава, изпарението се усилява, топлият и влажен въздух се издига лесно нагоре, при което изстива и се образуват облаци; те екранират притока на слънчева радиация, температурата на океанската

повърност се понижава, изпарението се забавя, охладеният въздух се спуска надолу и това води до разрушаване на облачността и възстановяване на първоначалните условия. Ето как при постоянно енергоснабдяване на системата океан-атмосфера, т.е. без промяна на външните условия, в нея могат да възникнат колебания.

Тези примери представляват значително опростяване на действителните процеси, но показват как някакво изменение в една част на климатичната система може да възбуди верига от следствия, засягащи останалите части. Много съществено при това е, че отделните звена в системата реагират с различна скорост на внесените изменения, включително на такива, породени от собственото й функциониране.

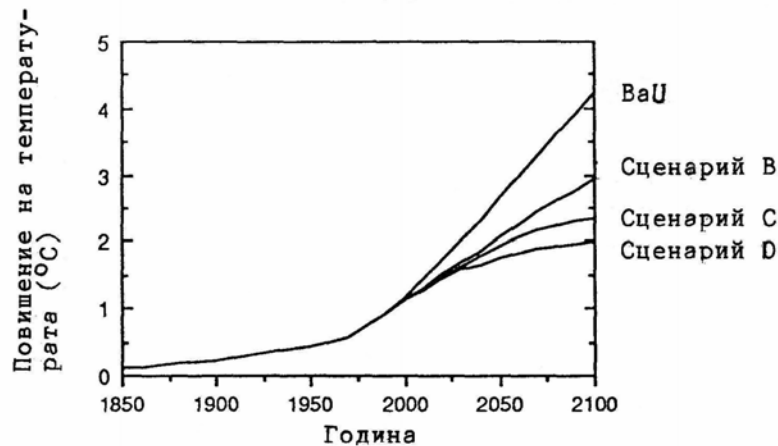
Нито един от създадените климатични модели не може да опише подробно всички процеси в климатичната система. Засега разделителната способност на тези модели (т.е. пространствената дискретизация) е доста груба - разпределението на различните метеорологични величини се представя в мрежа от точки, разположени на повече от 500 km една от друга, на десетина нива по вертикалата. Дори при такова грубо представяне трябва да се извършат около 500 милиарда пресмятания, за да се опише поведението на климатичната система за една година, а за да се достигне до "равновесното" състояние, пресмятанията трябва да обхващат много последователни години.

Проверката за това доколко адекватно математичният модел симулира климата се прави като се сравнят резултатите от изчисленията при зададени съвременни условия (външни фактори) с реалния климат. Бъдещото състояние на климата се прогнозира като се модифицират външните параметри в съответствие с очакваното им изменение (например задава се увеличено количество на парниковите газове) и се изчисли какъв климат (например каква средна приземна температура) ще се получи при тези условия. Несигурността при прогнозирането на климата се дължи до голяма степен на несъвършенството на съвременните модели. Специалистите си дават ясна сметка за това и моделите непрекъснато се усъвършенстват в резултат, от една страна, на продължаващото изучаване на състоянието и процесите в различните звена на климатичната система и връзките между тях, а от друга страна, на развитието на изчислителната техника.



Фиг. 4. Нарастване на концентрациите на парниковите газове (изразени чрез еквивалентна концентрация на CO_2) от началото на XX в. и прогнози за XXI в. - различни "сценарии" (BaU - запазване темповете на нарастване) [2]

Едно от най-несигурните неща при прогнозиране на антропогенното влияние върху климата е предвиждането на промените в концентрациите на парниковите газове. Затова климатичните прогнози се правят за различни "сценарии" на изменение на тези концентрации (Фиг. 4). При "най-лошия" сценарий (запазване на сегашните темпове на нарастване на емисиите) съвременните модели предвиждат повишаване на средната глобална температура с около $0,3^\circ\text{C}$ за десет години през следващия век (среден резултат от различните модели). Това значи, че преди 2100 г. тя ще бъде с около 3°C по-висока от сегашната (или с около 4°C по-висока от доиндустриалната) (Фиг. 5). Тези темпове са над пет пъти по-големи от скоростта на повишаване на температурата след последното заледряване, която се оценява на $0,05^\circ\text{C}$ за десет години. За сценария с най-силно намаление на емисиите се получава, че средната глобална температура през следващия век ще се повишава с около $0,1^\circ\text{C}$ на десет години.



Фиг.5. Средни резултати от климатичните модели за промяната на средната глобална температура спрямо 1765 г. в съответствие с регистрираните увеличения на концентрациите на парниковите газове от 1850 г. до 1990 г. и с различните сценарии на техните увеличения до 2100 г. [2]

Оценките за промяна на средната глобална температура обаче не дават пълна представа за очакваните изменения на климата, тъй като те няма да са еднакви навсякъде (както не са еднакви регистрираните досега промени). Затоплянето се предвижда да бъде най-силно във високите ширини на северното полукълбо през зимата и доста по-малко от средното в районите на морските ледове през лятото. Очаква се известно увеличение на валежите в умерените и високите ширини, но и по-голяма променливост в тяхното разпределение и увеличение на честотата на проливните валежи. А именно екстремните прояви на времето са с много по-сериозни последици от промяната на средните климатични условия.

Една от най-неблагоприятните последици от затоплянето на климата може да бъде покачването на морското равнище вследствие на топлинното разширение на водата в океана и на топенето на леда, в резултат на което големи територии от сушата могат да се окажат след време под водата. Според най-лошия сценарий повишението на морското ниво към 2100 г. се очаква да бъде 65 cm (средно от различните модели, с най-неблагоприятна прогноза за 100 cm повишение). Трябва обаче да се има предвид, че ледниците в

Антарктида и Гренландия ще реагират със закъснение и обратната връзка лед-температура, която може да се задейства, след като започне тяхното топене, прави прогнозите за по-дълги периоди много несигурни.

Не е за пренебрегване и въздействието, което може да има глобалното затопляне, върху екосистемите. Те ще реагират както на промените на температурата, валежите и екстремните ситуации, така и на изменението на концентрацията на CO₂. Възможна е промяна във видовия състав, роля ще играе и конкуренцията и приспособимостта на различните видове, ще се променят условията за отглеждане на различни земеделски култури и т.н.

Това е според знанията на специалистите в момента, а те все още не са сигурни в много неща. Но поради възможните последици проблемът, свързан с глобалното затопляне, през последните години е във фокуса на вниманието не само на учените, но и на политиците, защото човечеството или трябва да се научи да се приспособява към променящите се от неговата дейност условия (а описаният проблем не е единствен), или трябва да развива такива технологии, които да дадат възможност да се намали антропогенното въздействие върху планетата.

Литература

1. Goodess C. M., J. P. Palutikof, and T. D. Davies; The Nature and Causes of Climate Change, Lewis Publishers, Belhaven Press, London (1992).
2. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Climate Change, The IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press (1990).
3. IPCC: Climate Change 1995; Second Assessment Report of the IPCC, Cambridge University Press (1995).
4. Mitchell, J. E. B.; The “greenhouse” effect and climate change, Reviews of Geophysics, 27, 115-139 (1989).
5. Физические основы теории климата и его моделирования. Гидрометеоиздат, Ленинград (1977).
6. Фирър Д., Променящата се атмосфера, Изд. Соф. у-тет (1995).

