

Моделиране на климатичните промени в класната стая

Д. Шалкрос, Т. Харисън¹

Климатичните промени и глобалното затопляне са “горещи” теми и заслужават важно място в училищните програми по природни науки.

Как обаче предсказваме бъдещите промени в нашият климат? Изглежда вече е време да запознаем учениците с едно опростено моделиране на климата. В тази статия показваме как учениците могат да използват прости електронни таблици за изследване на основните фактори, които влияят на климата на Земята.

Пръв опит за моделиране на климата

В най-простия модел на климата падащата върху Земята слънчева енергия се приравнява на излъчената от планетата енергия. В тази статия величината “енергия” всъщност представлява поток на енергия, т.е. – енергия за секунда². От измерванията знаем, че достигащата до горния край на атмосферата слънчева енергия (за секунда), наречена слънчева константа S , е 1370 W/m^2 .

Започваме с пресмятане на средната температура на повърхността на Земята, T_E (индексът E идва от английското Earth – бел. прев.). Ако приемем, че Земята е сфера и означим радиуса ѝ с R_E , в този много опростен модел можем да смятаме, че Земята поглъща слънчева енергия от площ πR_E^2 (т.е. от плосък диск с радиус R_E), но излъчва енергия от площ $4\pi R_E^2$ (т.е. от цялата повърхност на сферата). От равенството

(а) погълнатата енергия = излъчена енергия

и от закона на Стефан – Болцман³

(б) падналата енергия за единица време върху единица площ x общата площ (диск) = излъчената енергия за единица време от единица площ x общата площ (сфера),
получаваме:

(в) $1370 \cdot \pi R_E^2 = \sigma T_E^4 \cdot 4\pi R_E^2$.

От това уравнение получаваме:

$$\sigma T_E^4 = \frac{1370}{4} = \frac{S}{4}$$

$$T_E^4 = \frac{1370}{4 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8}}$$

$$T_E = 279 \text{ K (6 } ^\circ\text{C)}.$$

Като се има предвид колко груб е използваният модел, на пръв поглед резултатът изглежда разумен – истинската средна температура на земната повърхност е 16°C . Проблемът с този много прост модел обаче е в това, че вместо да се погълне от Земята, една част от падащата слънчева енергия се отразява от облаците и ледовете и се връща в космическото пространство.

Приблизително 24 % от падащата енергия се отразява от облаците, а други 6 % се отразяват от повърхността, например от ледовете. Така отражателната способност на

¹ Превод със съкращения от статията на Dudley Scallcross, Tim Harrison, публикувана в бр. 9 от 2008 г. на списание Science in School. За тези, които ще бъдат заинтересовани, авторите предлагат за връзка и адресите на електронната си поща: d.e.shallcross@bristol.ac.uk и t.g.harrison@bristol.ac.uk. (Бел. прев.)

² Всъщност точният термин е **плътност на потока на енергията**, защото става дума за енергия, преминала за единица време през единица площ, поставена перпендикулярно на разпространението ѝ. (Бел. прев.)

³ Законът на Стефан – Болцман описва общата енергия I , излъчена от абсолютно черно тяло при температура T : $I(T) = \sigma T^4$, където I е излъчената за единица време от единица площ енергия (W/m^2), T е абсолютната температура (К), σ е константата на Стефан – Болцман ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4)$).

Земята, наречена албеда (A), се оказва приблизително 30 % или 0,3. Следователно лявата страна на равенство (в) трябва да се препише като $0,7 \cdot 1370 \cdot \pi R_E^2$ и сметката за T_E става:

$$T_E^4 = \frac{1370 \cdot 0,7}{4,5,67 \cdot 10^{-8}} \quad \text{и} \quad T_E = 255 \text{ K } (-18 \text{ } ^\circ\text{C}).$$

Тази стойност е очевидно твърде ниска и естествено предизвиква въпроса: защо Земята е толкова топла? За да отговорим на този въпрос се нуждаем от малко по-сложен модел.

Модел на Земята с еднослойна атмосфера

Ако приемем, че атмосферата се състои от еднослойна газова смес, можем да построим по-точен модел, който учениците да използват с електронна таблица. В този модел се допуска поглъщане от атмосферата на видимата светлина, идваща от Слънцето, и поглъщане на излъчените от Земята инфрачервени лъчи.

Показаната фигура сумира елементите на модела. С F_S е означена слънчевата константа, разделена на 4 ($S/4$), което следва от разликата между падащата енергия, разпределена върху диск с площ πR_E^2 и излъчената от сфера с площ $4\pi R_E^2$ енергия (предположение, направено и в първия модел). Тогава притокът на енергия от Слънцето е $F_S(1-A)$, където A е албедото – частта от енергията, отразена обратно в космическото пространство. Тази енергия е във видимата и в ултравиолетовата област. Да означим с τ_{VIS} онази част от тази енергия, която не се поглъща от атмосферата: ако атмосферата я поглъща изцяло, тогава $\tau_{VIS} = 0$, а ако атмосферата е напълно прозрачна за нея, то $\tau_{VIS} = 1$. Следователно енергията, достигаща повърхността на планетата е $F_S(1-A) \tau_{VIS}$.

Земята се държи като абсолютно черно тяло и излъчената от нейната повърхност енергия ще означим с F_g . Голямата част от тази енергия се намира в инфрачервената област на спектъра. Определени атмосферни газове поглъщат инфрачервеното лъчение (парниковите газове). По подобие с τ_{VIS} , с τ_{IR} ще означим частта от инфрачервеното лъчение, която не се поглъща в атмосферата, така че излъчената в пространството енергия е $F_g \tau_{IR}$.

Да означим с F_a потока на енергията в атмосферата и предположим, че потоците енергия към и от центъра на Земята се компенсират както на земната повърхност, така и в горния край на атмосферата. Тогава балансът на енергиите върху земната повърхност се изразява с равенството:

$$(1) \quad F_S(1-A)\tau_{VIS} + F_a = F_g,$$

а балансът върху горния край на атмосферата – с:

$$(2) \quad F_g \tau_{IR} + F_a = F_S(1-A).$$

От тези две равенства получаваме:

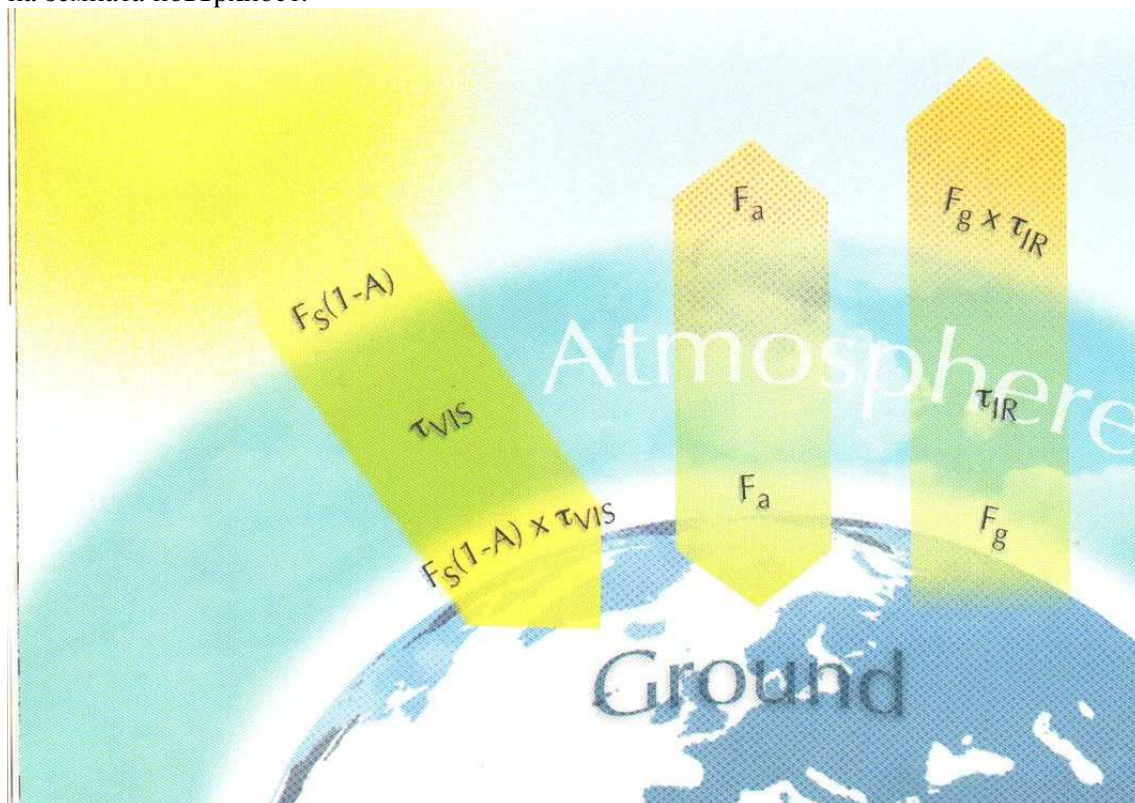
$$(3) \quad F_g = \sigma T_E^4 = \frac{F_S(1-A)(1 + \tau_{VIS})}{(1 + \tau_{IR})}$$

и окончателно:

$$(4) \quad T_E = \left[\frac{F_S(1-A)(1 + \tau_{VIS})}{\sigma(1 + \tau_{IR})} \right]^{0,25}.$$

Ако използваме следните стойности: $F_S = 1370/4 = 342,5 \text{ W/m}^2$ (слънчевата константа, разделена на 4), $A = 0,3$, $\tau_{VIS} = 0,8$ и $\tau_{IR} = 0,1$, от формула (4) получаваме:
 $T_E = 288,5 \text{ K } (15,5 \text{ } ^\circ\text{C}),$

което представлява приблизително точна стойност на настоящата средна температура на земната повърхност.



Формула (4) може да се постави в програма като например Майкрософт Ексел, така че учениците да видят до какви промени на глобалната температура водят измененията на определени параметри. Това е направено и на уебсайта на университета в Бристол (www.chm.bris.ac.uk/acrg/model/sample_climate_model/prediction_model.html).

Възможни въпроси

Типични въпроси, които може да се разискват и за отговора на които учениците трябва да използват модела, са:

1. Коя от променливите има най-голям ефект върху средната глобална температура?
2. Ако средното разстояние до Слънцето нарасне с 1 %, слънчевата константа ще се намали 1,0201 пъти, т.е. ще стане 1343 W/m^2 . Каква ще бъде тогава температурата, ако албедото е 0,3, $\tau_{IR} = 0,3$ и $\tau_{VIS} = 0,6$?
3. Ако пясъците на Сахара се превърнеха в огледало (чрез стапяне пясъкът може да се превърне в стъкло):
 - а) Колко голямо би трябвало да бъде огледалото, за да се охладят Земята с $1 \text{ }^\circ\text{C}$?
 - б) Каква част от Сахара би представлявало това?

Един малко по-сложен модел

Какво показва сравнението на простия модел с по-сложни модели, като например този, използван центъра Хадли към британската метеорологична служба? Фактически двата модела са много подобни, с изключение на това, че моделът на центъра Хадли не разглежда атмосферата като съставена от един слой, а я разделя на определен брой клетки в зависимост от тяхната надморска височина, географска ширина и дължина. За всяка клетка моделът пресмята количеството на падащата

видима и ултравиолетова светлина, преминалата и разсеяната от тази клетка, както и количеството на излъчената от клетката инфрачервена радиация, пресметнато на основата на концентрациите на главните парникови газове, площта на покритите с облаци и лед области. Най-сложният модел отчита също топлинния поток към и от океана и приемането на CO₂ от растителността. Но ако вие разберете принципите на простия модел, вие ще сте в състояние за разберете и по-сложните реални климатични модели.

Участие в една реална симулация на климата

Адресът на най-големия експеримент, който опитва да предскаже климата през 21-и век, е <http://climateprediction.net>. Той използва помощта на хора от целия свят, които могат да предложат време на своите компютри – когато компютрите са включени, но не се използва пълния им капацитет. Пълният модел на климата съдържа много параметри, които следва да бъдат съгласувани; за да се използват всички тези параметри, трябва да се извърши изключително голям брой симулации. Даже с изчислителните възможности на колектива на climateprediction.net проиграването на всевъзможните симулации би заело твърде много време. Идеята, заложена в climateprediction.net е, че всеки би могъл да зареди версия на модела, която ще изследва един от многото параметри. Моделирането ще трае около три месеца и ще се провежда докато вие работите, без да влияе на скоростта на работата на компютъра ви.

Пресмятанията се правят на три части. Първата част включва пресмятания, в които се използват данните от 1850 до 1900 година, като сравнява резултатите от предсказанията с температурните рекорди: това е известно като калибрационен цикъл. През втората част се правят симулации от 1901 година до днес. През третия етап вървят симулациите на бъдещия климат (2000–2100), като се променя един параметър, например чувствителността на климата към неопределеността в цикъла на сярата. Щом пресмятанията приключат, данните автоматично се изпращат в британския център по метеорология, когато компютърът е включен. Безплатният интерфейсен софтуер, който се осигурява за симулациите, представя на ползвателя на компютъра графика на пресметнатите промени на климата. Сезонните промени на температурата за различни надморски височини и географски ширини и дължини са част от променливите, които може да се онагледят. Подобни дейности могат да спомогнат за осъществяване на един междупредметен училищен проект, свързващ географията и физиката.

Източници:

1. Интерактивна версия на прост модел на климата може да се използва онлайн или да се изтегли от адрес: www.chm.bris.ac.uk/acrg/model/simple_climate_model/prediction-model.html ; с помощта на плъзгачи може да се променят параметрите.
2. За по-големи подробности относно експеримента и за възможностите за включване в него вж.: <http://climateprediction.net> . Тази страница на адрес <http://climateprediction.net/schools/resources.php> предлага също информация за източници, подходящи за използване в училище.
3. На адрес www.chemlabs.bristol.ac.uk/outreach/resources/Atmos.html учителите могат да намерят много данни за замърсяването на въздуха, за промените в климата и за озоновата дупка.
4. Графики и данни за климатичните промени може да се намерят на адрес www.grida.no/climate/vital/index.html.