



**Минимальная модель системы
«биосфера-климат» и ее
компоненты**

С.И.Барцев



Экстраполяция наблюдаемых трендов глобальных параметров в будущее указывает на возможность существенных изменений параметров биосферы и климата Земли, способных привести к тяжелейшим экологическим, экономическим, социальным, демографическим и др. последствиям.

Возникает естественный вопрос: «Что с этим знанием делать?»»

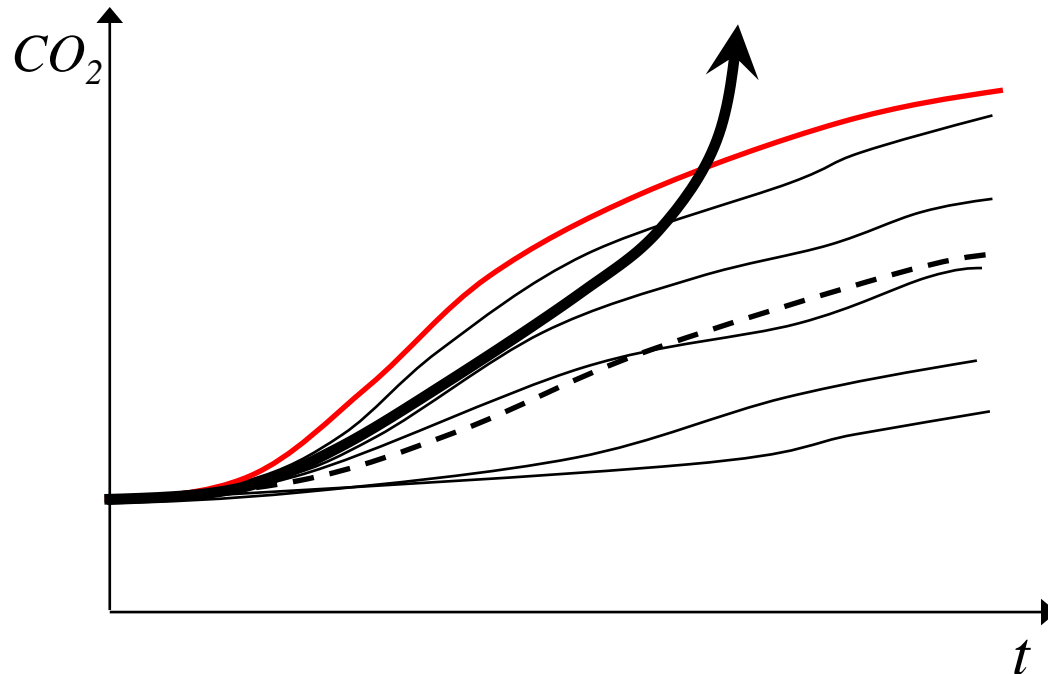
«В тех случаях, когда существует угроза серьёзного или необратимого ущерба, отсутствие полной научной уверенности не используется в качестве причины для отсрочки принятия экономически эффективных мер по предупреждению ухудшения состояния окружающей среды» (Доклад конференции ООН по окружающей среде и развитию. Рио-де-Жанейро, 1992).

В соответствии с этим положением мы должны в первую очередь рассматривать вариант с самыми тяжёлыми последствиями, то есть следовать "принципу наихудшего сценария**".**

Необходимость рассмотрения наиболее неблагоприятного варианта развития глобальных событий приводит к требованию исключить из рассмотрения все возможные, но не на 100% достоверные механизмы, способные смягчить негативный вариант динамики. При этом значения параметров модели выбираются на неблагоприятных для нас краях доверительных интервалов.

Тем самым положение ООН (принцип наихудшего сценария) логично приводит нас к минимальной модели биосферы, в которой представлены только неблагоприятные для нас положительные обратные связи и достоверно известные компенсирующие механизмы (например, поглощение углекислого газа океаном).

Какой же из сценариев динамики CO_2 является наихудшим?



--- гипотетический “наивероятный” сценарий
— гипотетический “наихудший” сценарий



Подобного рода самоускоряющиеся процессы возникают в системах с положительными обратными связями.

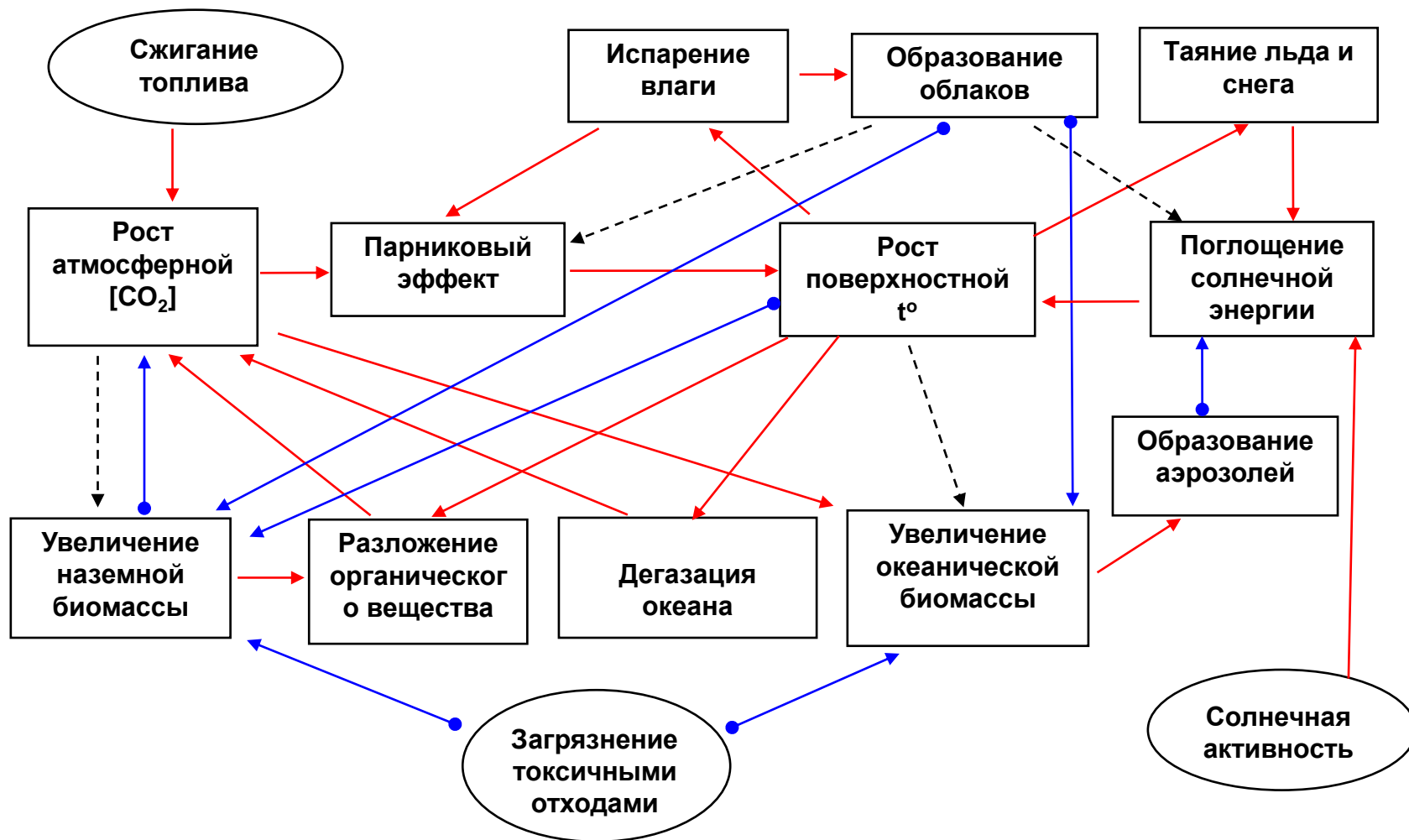


Схема наиболее очевидных взаимодействий между процессами в биосфере.

← — — — — — - положительный эффект; ← — ● — — — — — - отрицательный эффект;

← — — — — — - неопределённый эффект.

Из наихудших сценариев самый наихудший – это сценарий с порогом необратимости. Значит нужно в первую очередь **теоретически и экспериментально исследовать механизмы, способные привести к этому сценарию.**

Из общих оценок следует, что самый быстрый механизм обратной связи в системе «биосфера-климат» - это повышение скорости разложения неживой органики, а значит выделения углекислого газа, и понижение скорости фотосинтеза высших растений в ответ на повышение температуры.

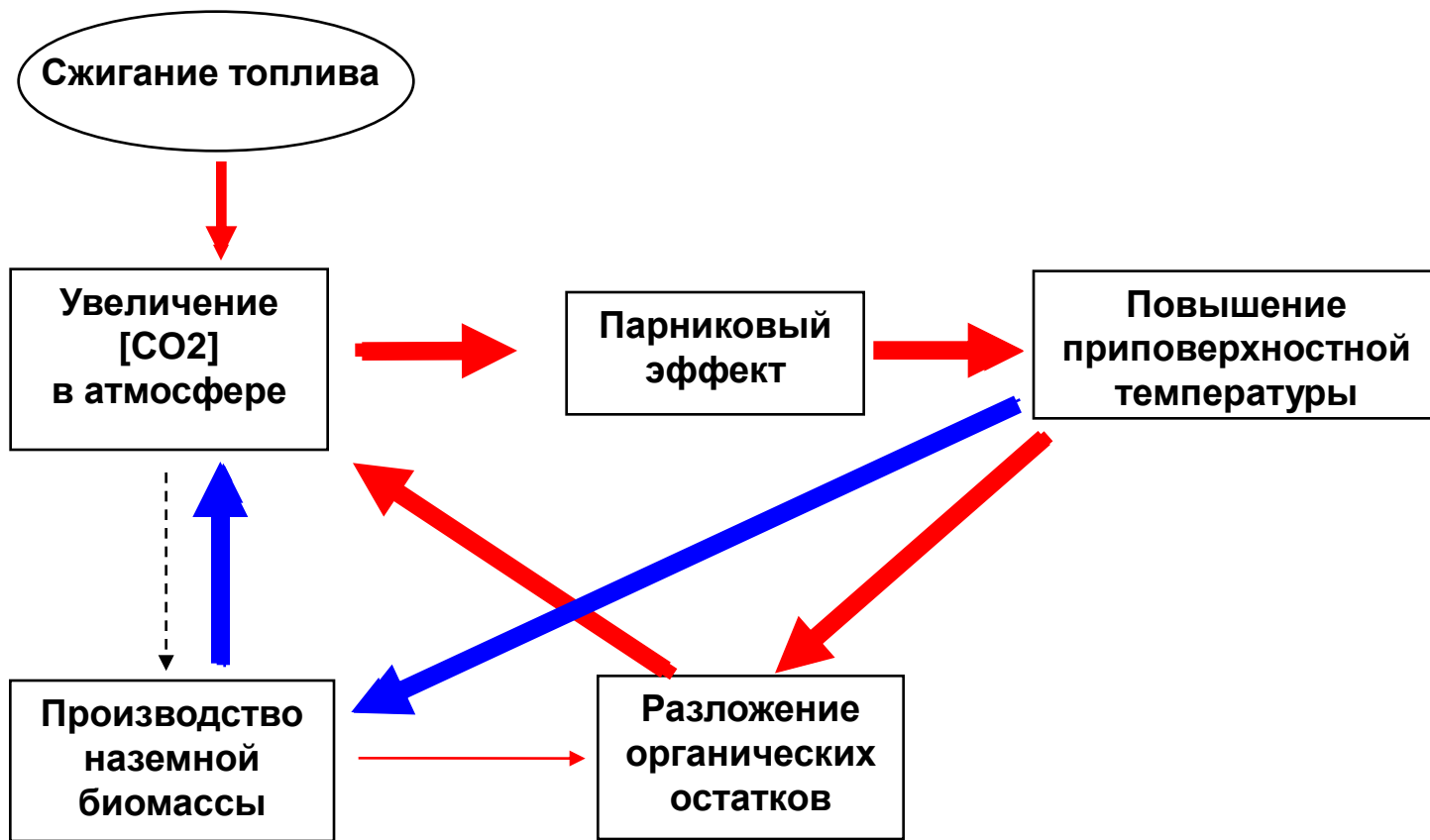
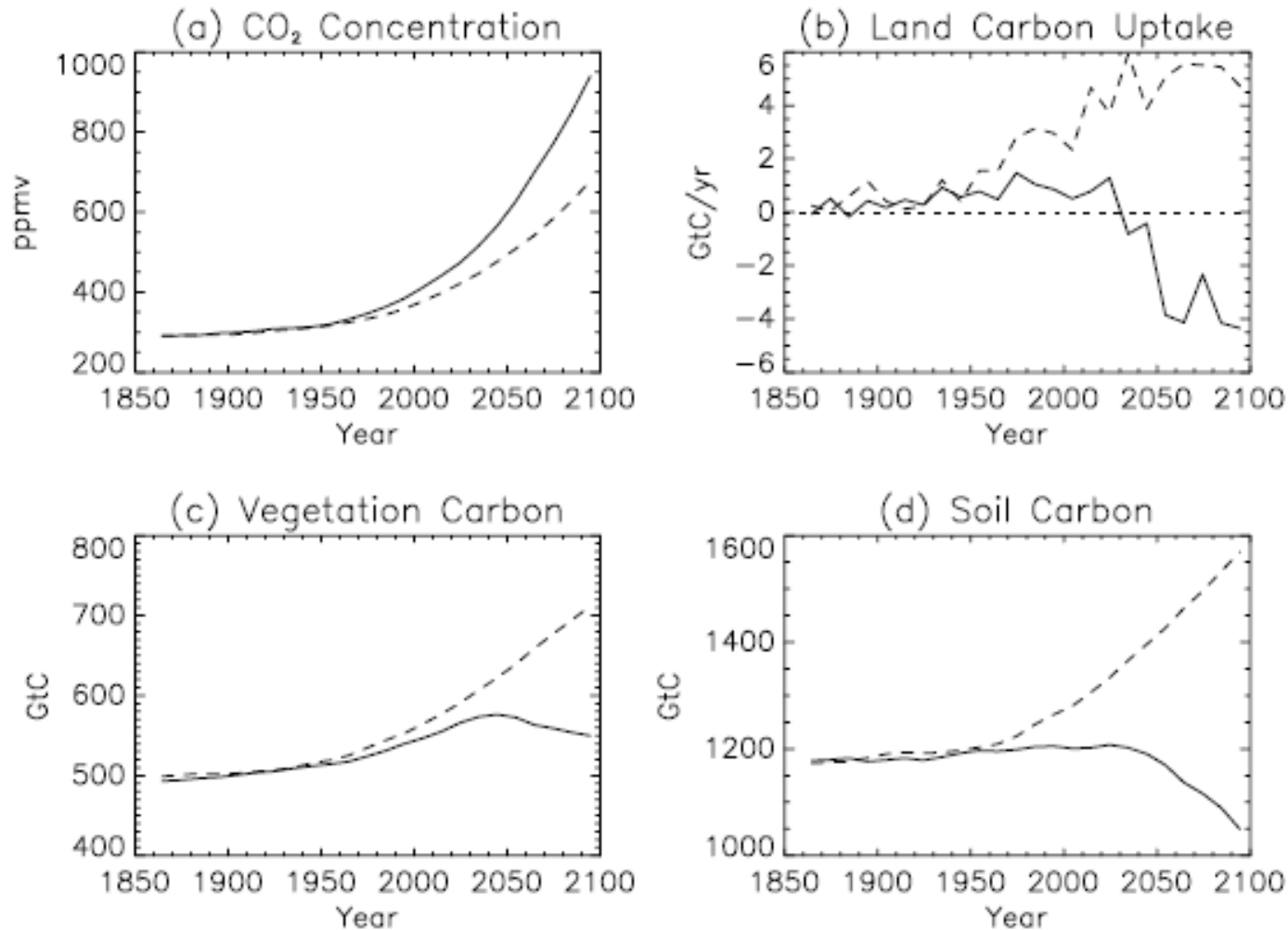


Схема взаимодействий между процессами, рассмотренными в модели

← - положительный эффект; ← - отрицательный эффект;

← - - - неопределенный эффект.

Учет биоты приводит к ухудшению прогноза



The GCM is based on the third Hadley Centre coupled ocean-atmosphere model, HadCM3, coupled to an ocean carbon cycle model (“HadOCC”) and a dynamic global vegetation model (“TRIFFID”).

P.M. Cox, R.A. Betts, M. Collins, P.P. Harris, C. Huntingford, C.D. Jones. 2004. Amazonian forest dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century. *Theor. Appl. Climatol.*, **78**, 137-156.

Простейшая модель, показывающая вклад обратных связей в разброс оценок **чувствительности климата к повышению концентрации углекислого газа в атмосфере:**

$$C \frac{d\Delta T}{dt} = \Delta R_f + \sum_i f_i \Delta T$$

Здесь $C=1.1\pm 0.5$ [ГДж м⁻² °С⁻¹] – теплоёмкость климатической системы; ΔT [°С] - изменение глобальной среднегодовой поверхностной температуры воздуха вследствие радиационного воздействия ΔR_f [Вт м⁻²]; f_i - [Вт м⁻² °С⁻¹] коэффициенты, соответствующие воздействию при изменении температуры на 1 °С.

Величина ΔR_f может быть вычислена по формуле $\Delta R_f = 5.3 \ln\left(\frac{A}{A_0}\right)$ [Вт м⁻²], где A и A_0 - концентрации углекислого газа в атмосфере.

Единственным инструментом для оценки обратных связей в данный момент являются трёхмерные модели общей циркуляции атмосферы и океана.

Roe and Baker. 2007. Why is climate sensitivity so unpredictable? Science, 318, 629–632.

Существующие оценки обратных связей климата

$$\Delta R_f = 4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Радиационное воздействие

$$f_I = -3.2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$$

Длинноволновое излучение в космос

$$f_{VW} = 1.8 \pm 0.18 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$$

Водяной пар в атмосфере

$$f_A = 0.26 \pm 0.08 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$$

Альbedo земной поверхности

$$f_C = 0.69 \pm 0.38 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$$

Формирование облаков

$$f_{TG} = 0.84 \pm 0.26 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$$

Вертикальный градиент температуры

$$\Delta T_{MIN} = 1.83 \text{ °C}$$

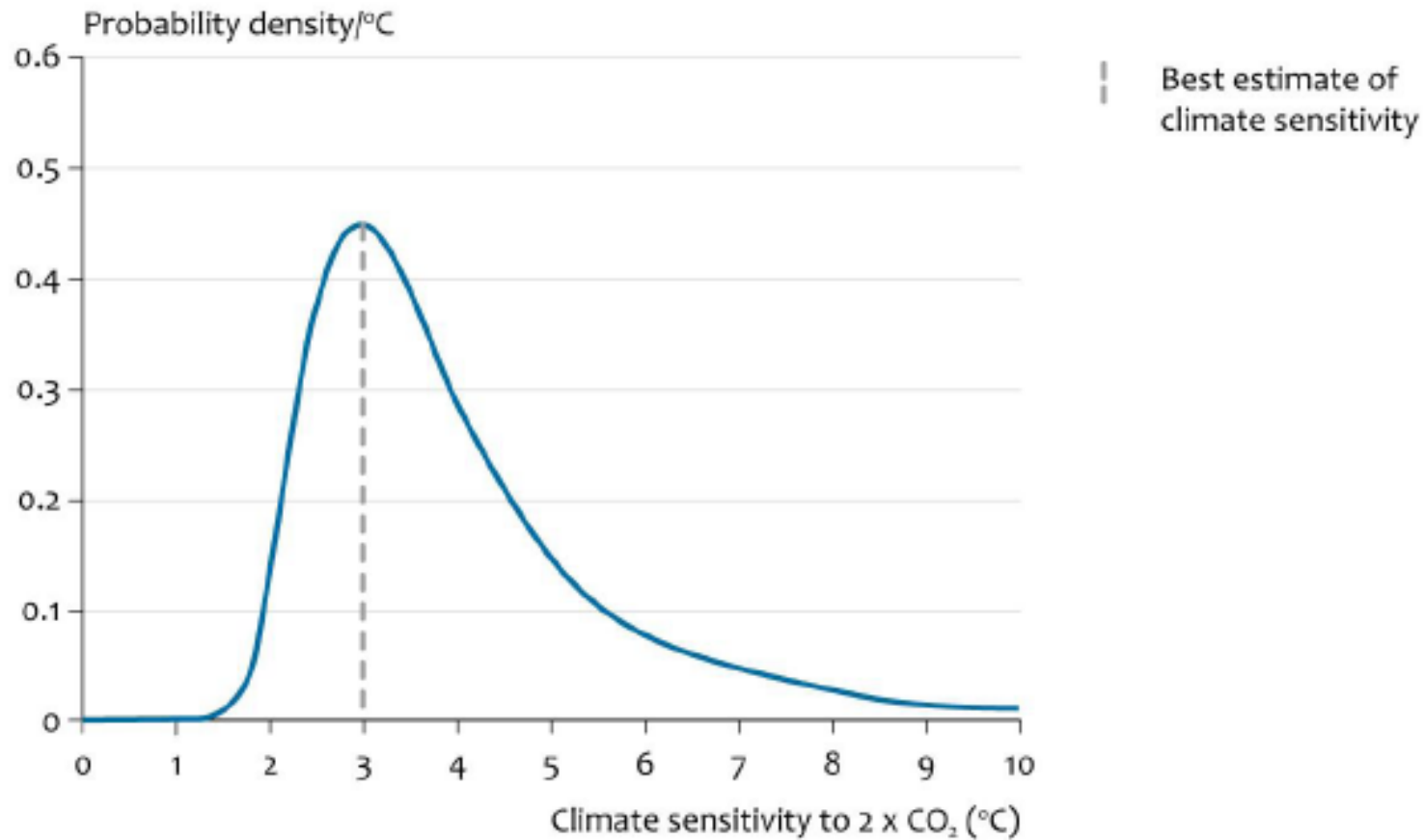
$$\Delta T_{AVERAGE} = 3.1 \text{ °C}$$

$$\Delta T_{MAX} = 10.26 \text{ °C}$$

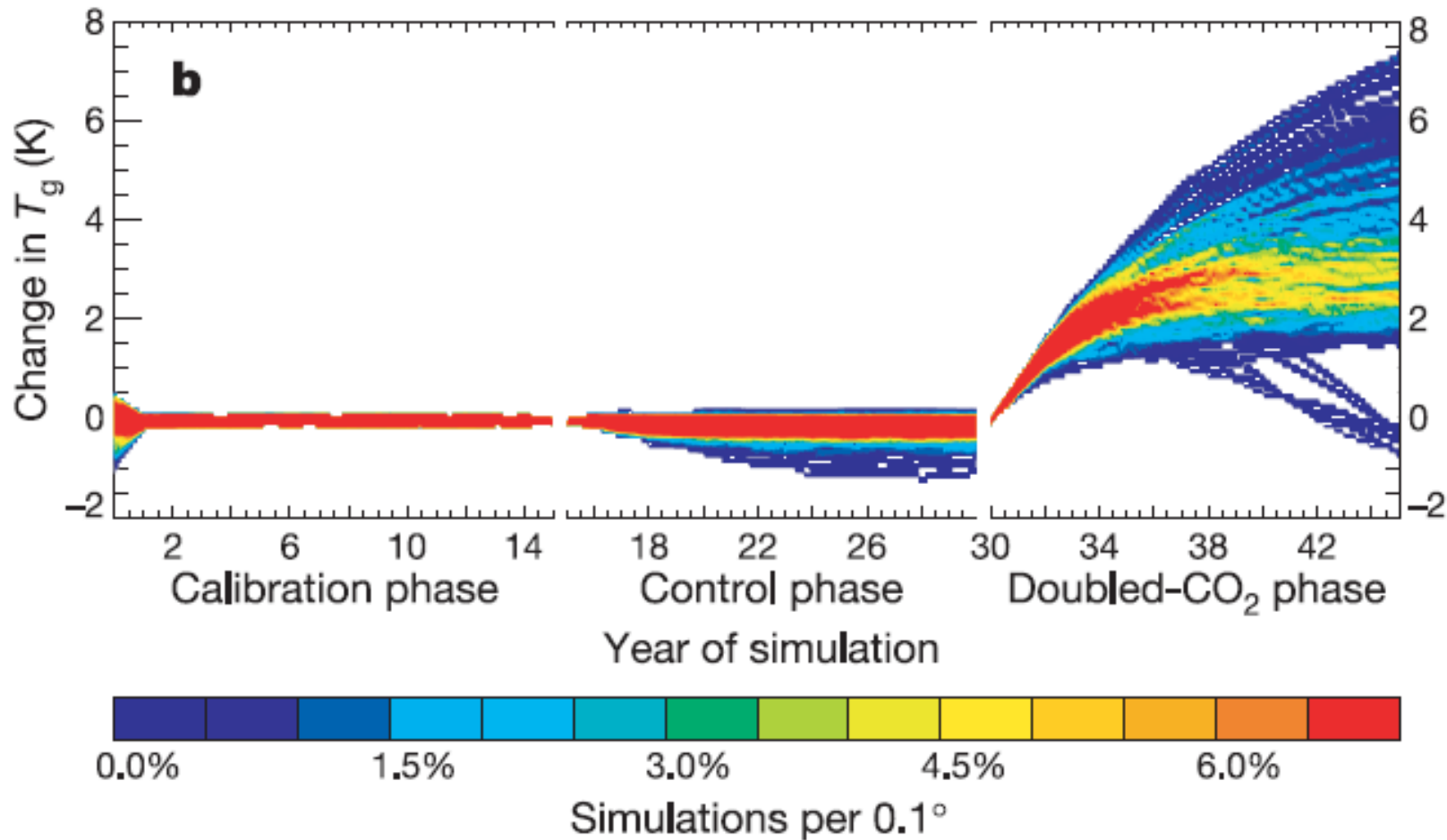
Randal, D. A., et al., 2007: Climate models and their evaluation, in *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K.

$$C \frac{d\Delta T}{dt} = \Delta R_f + \sum_i f_i \Delta T \quad \Rightarrow \quad \Delta T = -\frac{\Delta R_f}{\sum_i f_i}$$

Climate sensitivity



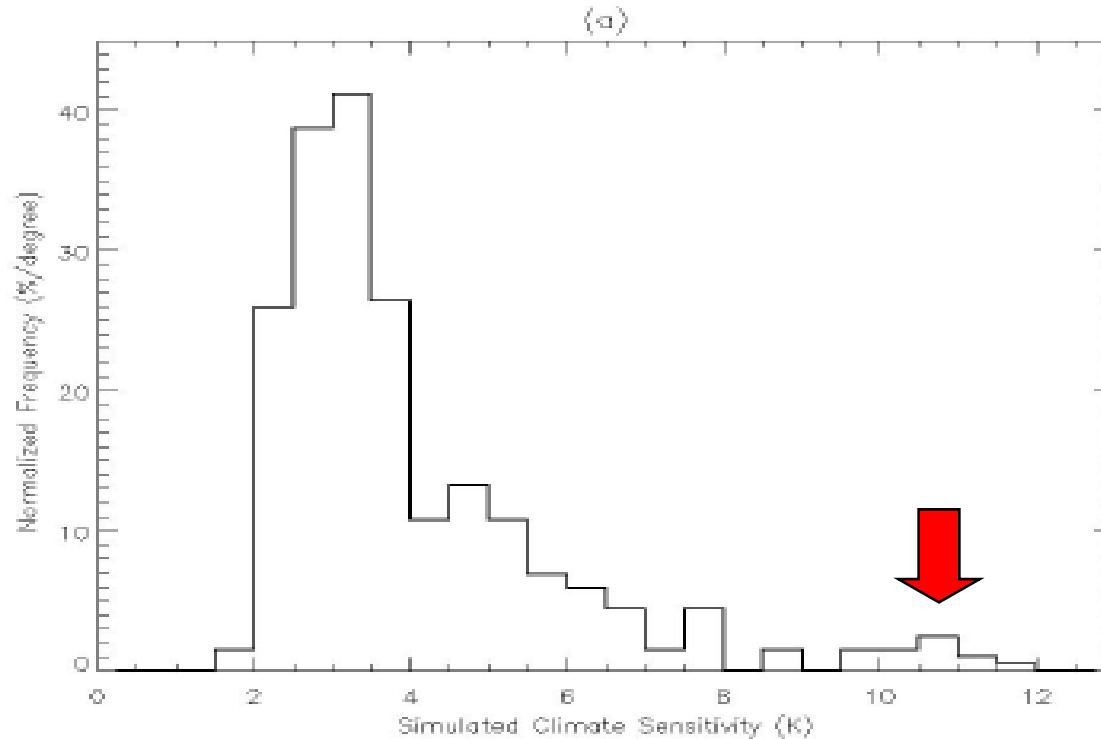
Roe and Baker. 2007. Why is climate sensitivity so unpredictable? *Science*, 318, 629–632.



Частотные распределения T_g (цвет показывает плотность траекторий на 0.1 К интервал) на трех фазах моделирования.

D. A. Stainforth, T. Aina, C. Christensen, M. Collins, N. Faull, D. J. Frame, J. A. Kettleborough, S. Knight, A. Martin, J. M. Murphy, C. Piani, D. Sexton, L. A. Smith, R. A. Spicer, A. J. Thorpe & M. R. Allen
 Nature.-2005.-V.433.

Соответствие решений, полученных на минимальной и большой моделях



climateprediction.net

Dave Stainforth, Myles Allen,
David Frame, Claudio Piani
and many,
many others.

Atmospheric, Oceanic and
Planetary Physics, University
of Oxford, UK

В соответствии со статистикой авиакатастроф (<http://www.planecrashinfo.com/>) , риск гибели пассажира примерно равен 10^{-7} . Люди соглашаются летать с таким уровнем риска. “Цена” катастрофы равна одной человеческой жизни. Принимая равенство ценностей человеческих жизней как постулат, и используя обратное отношение между вероятностью допустимого риска и «ценой» риска получаем простую оценку допустимой вероятности риска. Принимая, что глобальные климатические изменения могут привести к гибели 1 миллиарда человек получаем допустимую вероятность риска $\sim 10^{-16}$.

БЛОК-СХЕМА МИНИМАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ГЛОБАЛЬНОЙ ДИНАМИКИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

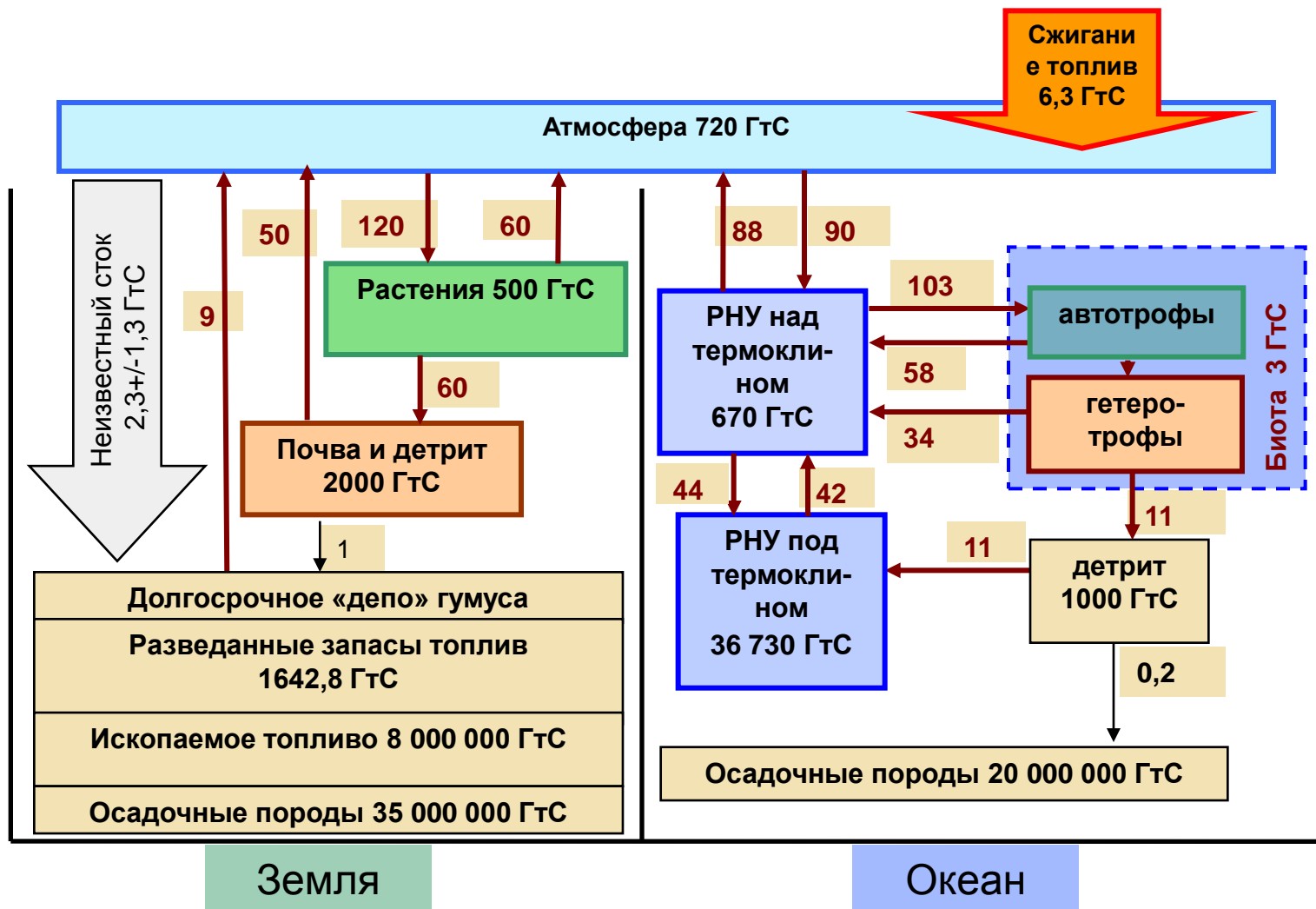


Схема круговорота углерода, которая использовалась для создания объединённой минимальной модели «наземная биота-атмосфера-океан».

Минимальная модель системы «биосфера-климат»

$$\left\{ \begin{array}{l}
 C \frac{d\Delta T}{dt} = \Delta R_f + \sum_i f_i \Delta T \\
 \frac{dA}{dt} = S(y, T_0 + \Delta T) + C_{a_up} M_{out}(\Delta T) B - P(x, A, T_0 + \Delta T) - C_{a_down} M_{in}(\Delta T) A + fuel(t) \\
 \frac{dx}{dt} = P(x, A, T_0 + \Delta T) - D(x) \\
 \frac{dy}{dt} = D(x) - S(y, T_0 + \Delta T) \\
 \frac{dB}{dt} = C_{a_down} M_{in}(\Delta T) A + C_{d_up} U - C_{f_down} B - C_{a_up} M_{out}(\Delta T) B \\
 \frac{dU}{dt} = C_{f_down} B - C_{d_up} U
 \end{array} \right.$$

$$P(x, A, T) = V_p \cdot x \cdot (x_{\max} - x) \cdot \frac{A}{K_A + A} \cdot f_p(T_0 + \Delta T)$$

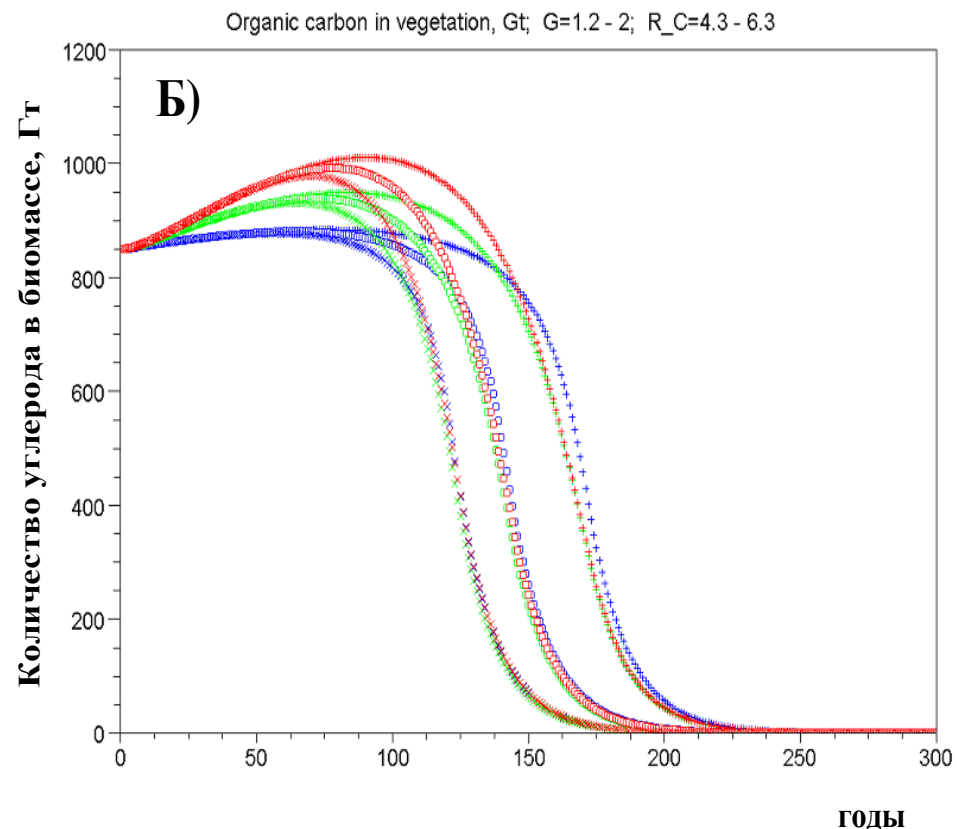
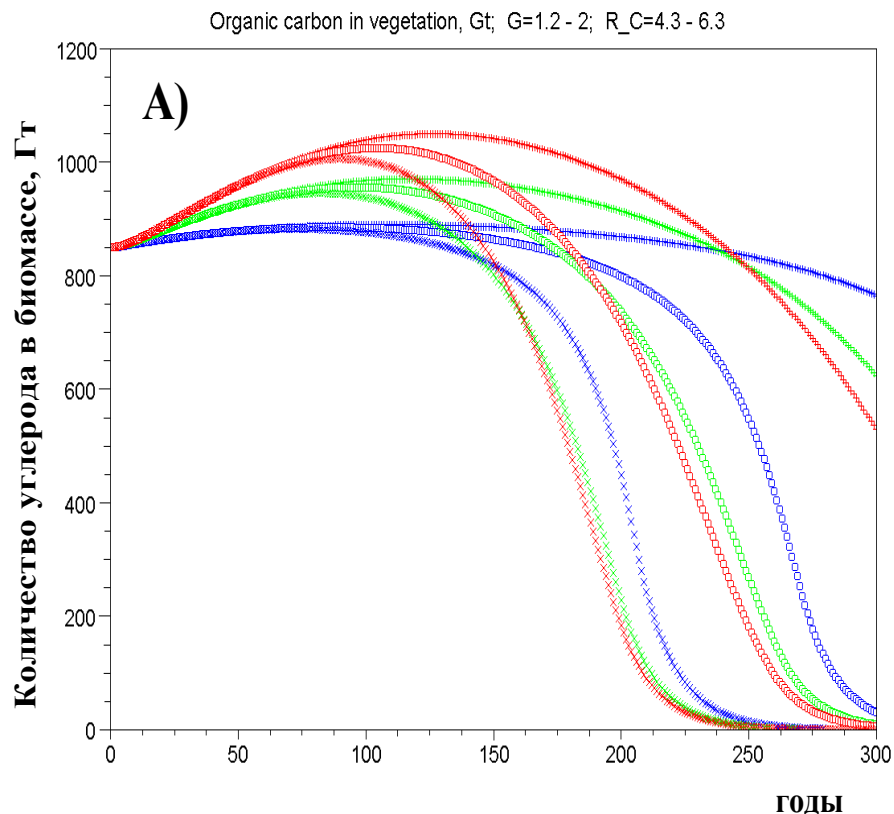
$$D(x) = V_d \cdot x, \quad S(y, T) = V_s \cdot y \cdot f_M(T)$$

$$M_{in}(\Delta T) = e^{-0.03\Delta T}, \quad M_{out}(\Delta T) = e^{0.03\Delta T}$$

$$f(T, T_{\max}) = \begin{cases} T^{1.5} (T_{\max} - T), & 0 \leq T \leq T_{\max} \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}$$

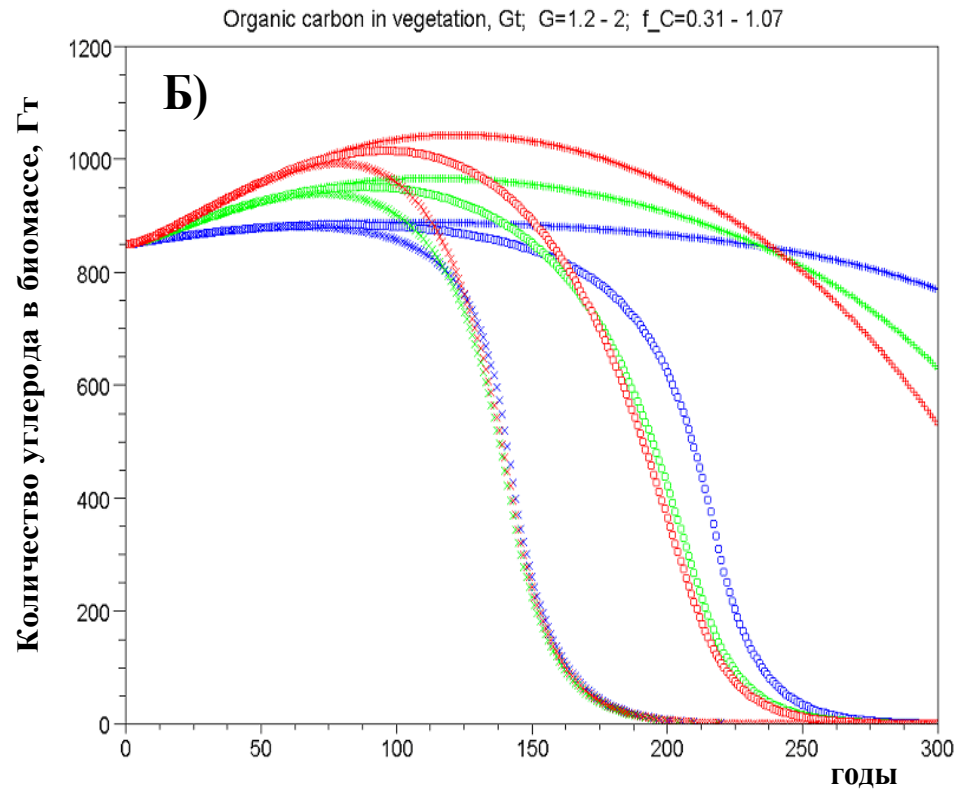
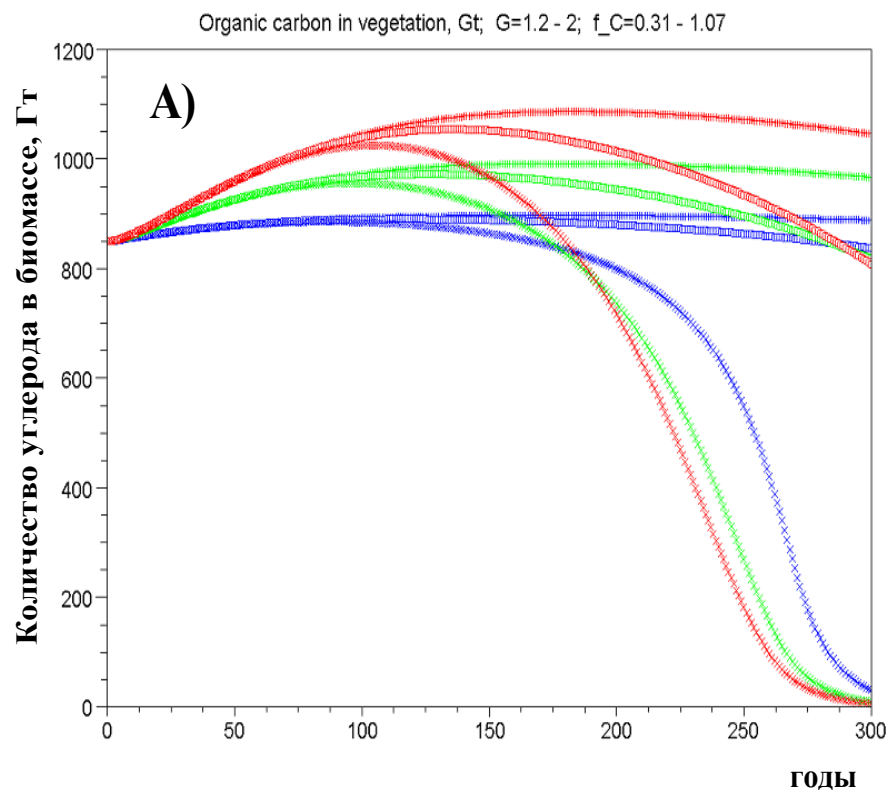
A – концентрация углерода в атмосфере; x – биомасса наземных растений; y - органика почв; B - количество углерода в приповерхностных слоях океана; U - количество углерода под термоклином.

Динамика биомассы в сопряженной минимальной модели системы «биосфера-климат»



Возможные сценарии динамики углерода в биомассе при варьировании вклада аэрозолей в радиационное воздействие и разных значений предельной емкости среды (параметр G). Отдельные «пучки» траекторий соответствуют разным значениям R_C (чем больше параметр, тем ближе траектория к началу отсчета). Рисунок (А) демонстрирует динамику при средних значениях параметров обратных связей, а рисунок (Б) - при значениях параметров на неблагоприятных краях доверительных интервалов.

Динамика биомассы в сопряженной минимальной модели системы «биосфера-климат»



Возможные сценарии динамики углерода в биомассе при варьировании вклада эффектов облачности (параметр обратной связи - f_C) и разных значениях предельной емкости среды (параметр G). Остальные обозначения соответствуют обозначениям рисунка 1.

Использование принципа наихудшего сценария не означает свехупрощения модели любой ценой. Пример корректного отношения к этому принципу – учет вклада океана. Поэтому уточнение свойств компонентов модели есть необходимое условие баланса на грани наихудшего, но адекватного описания системы «биосфера-климат».

Направления уточнений:

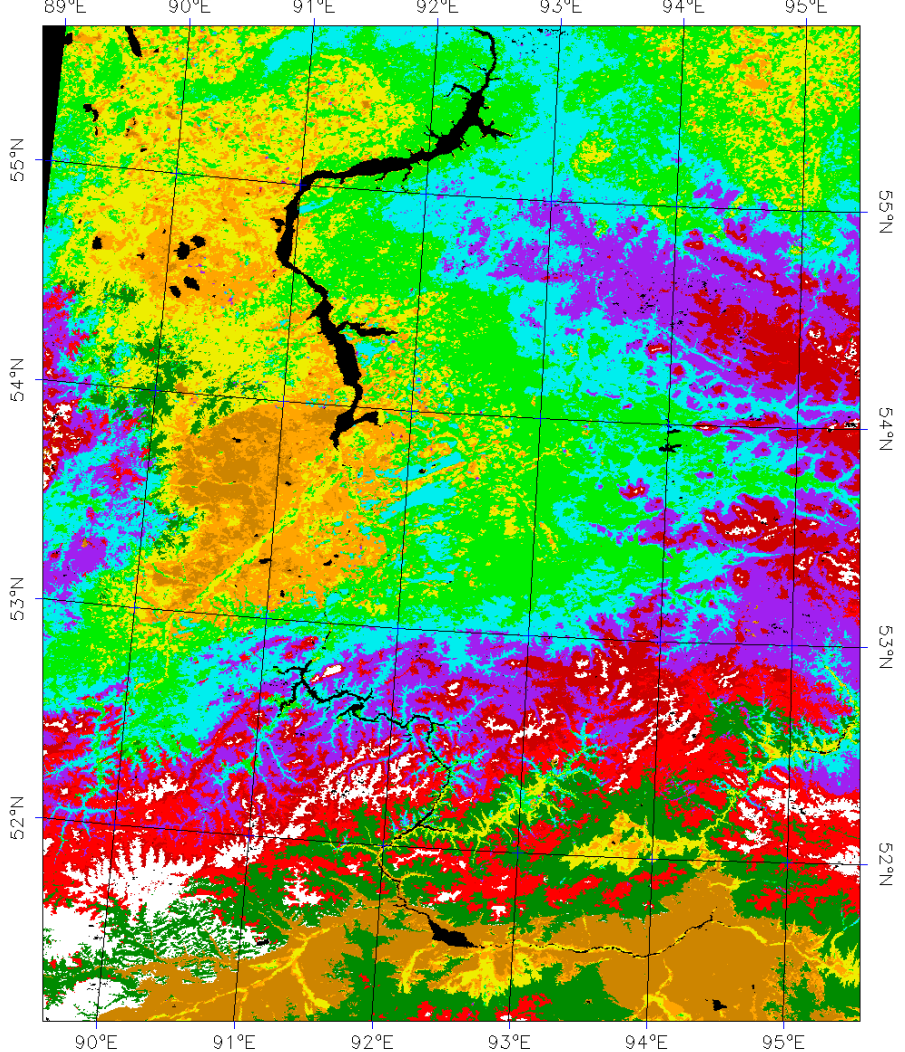
- 1) уточнение параметров модели и, возможно, самих зависимостей на основе кросс-верификационного сравнения разнородных данных, причем минимальна модель биосферы выступает в качестве инструмента интеграции этого весьма разнородного набора данных;**
- 2) поскольку почва играет ключевую роль в рассматриваемой положительной обратной связи, то необходимо уточнить кинетические параметры формирования и разложения органических компонентов почвы.**

Метод выделения пространственного распределения различных типов растительности

Метод основан на линейном преобразовании многомерного пространства состояний растительного покрова

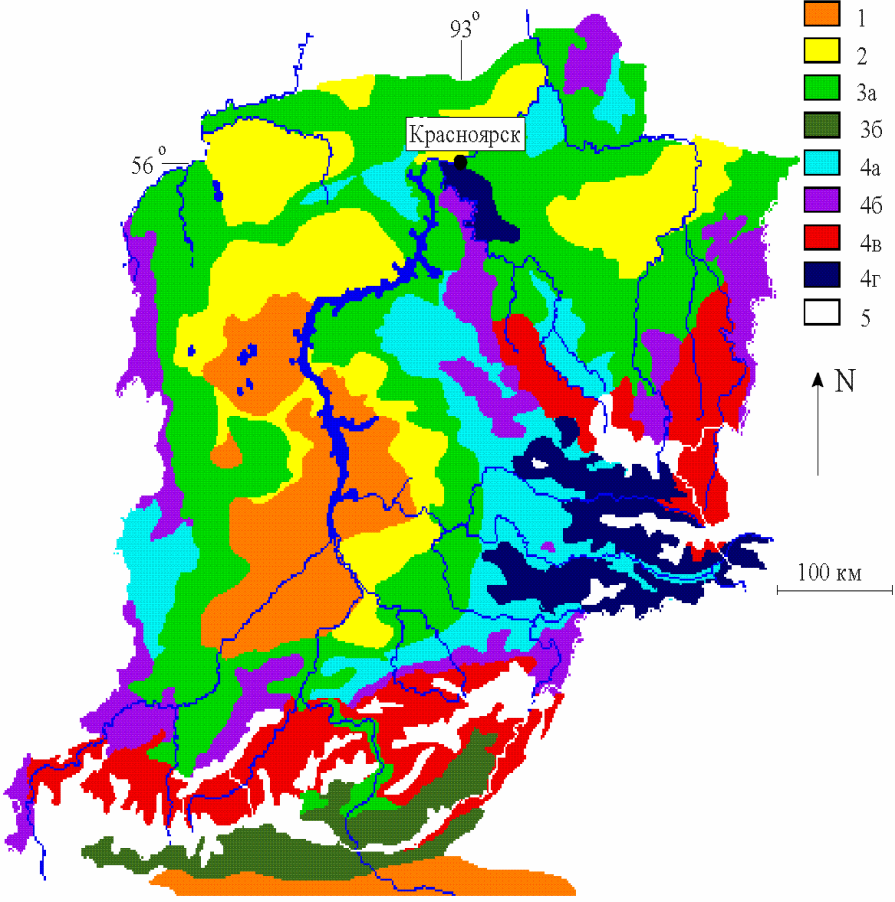
Вегетационный период 2009 г.

MODIS TERRA/AQUA



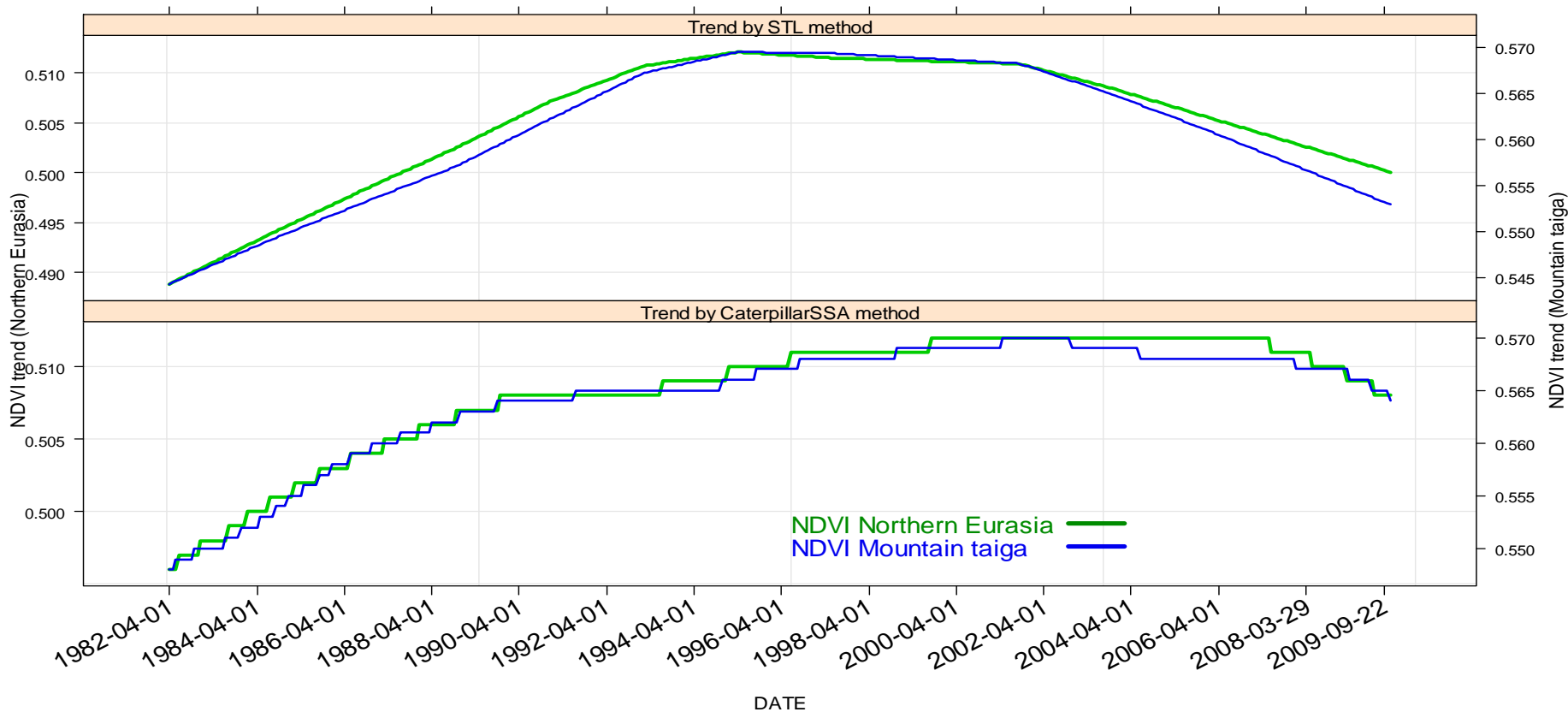
На основе данных ИЛ СО РАН

Зоны и высотные пояса



- 1- степь
- 2- лесостепь(Б, С, Л)
- 3- подтайга (С, Б, Ос, Л)
 - а) низогорная травяная в комплексе с лесостепями
 - б) среднегорная лиственничная в комплексе со степями
- 4- темнохвойные горные леса (П, К)
 - а) черневые,
 - б) таежно-черневые
 - в) горно-таежные кедровые
 - г) высокогорные кедровые и пихтовые
- 5- подгольцово-субальпийские редколесья и горные тундры

Выделение тренда NDVI на по данным GIMMS (AVHRR)-MODIS 1982-2009 гг.



Объединение данных MODIS и AVHRR позволило получить временной ряд NDVI с 1982 по 2009 гг. Применение непараметрических методов декомпозиции временных рядов STL и «Гусеница» позволило найти межгодовые циклы NDVI и получить общую тенденцию выраженную нелинейным трендом. Полученные тренды показывают синхронность многолетних процессов на субконтинентальном и региональном уровнях. В данном случае региональный уровень представлен горно-южно таежным экорегионом юга Красноярского края.

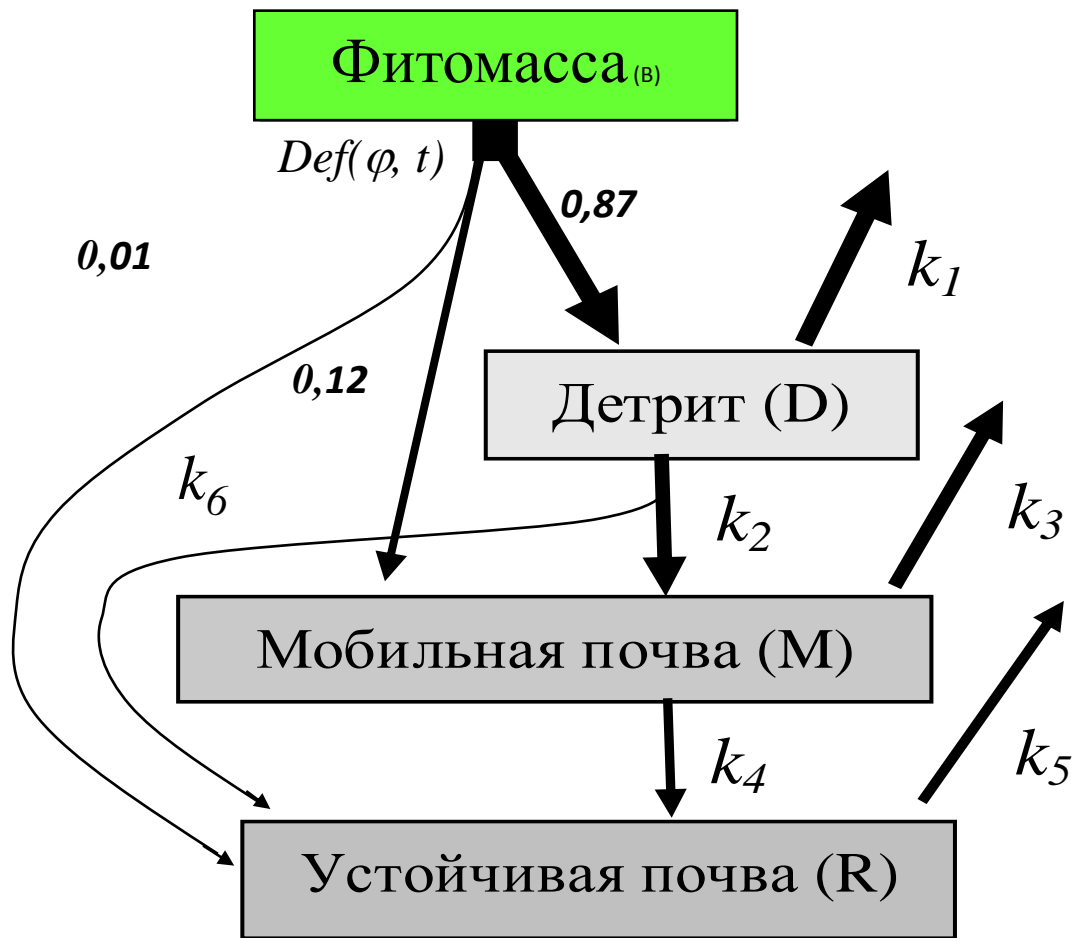


Схема потоков углерода и обозначения констант скоростей реакций

Продукция биомассы

$$\frac{dB_1}{dt} = p \cdot (V(T, W, E, B) \cdot B_a + s \cdot \text{VEG}(T, W)) - \gamma \cdot B_1$$

$$\frac{dB_2}{dt} = (1 - p) \cdot (V(T, W, E, B) \cdot B_a + s \cdot \text{VEG}(T, W)) - \text{DF}(T, W) \cdot B_2$$

Биомасса $B=B_1+B_2$, где B_1 — многолетняя биомасса, B_2 — однолетняя биомасса.

Биомасса, непосредственно участвующая в продукции новой биомассы приблизительно оценивается как $B_a=0,3 \cdot B_1+B_2$

$T=T(\varphi, \lambda, t)$ — температура, как функция от времени t , широты φ и долготы λ .

$W_p=W_p(\varphi, \lambda, t)$ — количество осадков, как функция от времени t , широты φ и долготы λ .

$E=E(\varphi, t)$ — количество солнечной радиации, поступающей на единицу площади земной поверхности как функция от времени t и широты φ .

$W=W_p(\varphi, \lambda, t) - Q \cdot E(\varphi, t)$ — количество (грубая оценка) неиспарённой влаги; Q — удельная теплота испарения воды.

$p=p(T_{ma}/W_{ma})=2,2(1-T_{ma}/W_{ma})^3$ — соотношение однолетней и многолетней биомассы, свойственное для растительности в данном климате, при данных значениях T_{ma} и W_{ma} , где T_{ma} — температура, средняя за весь период активных температур; W_{ma} — количество неиспарённой влаги, среднее за весь период активных температур; активные температуры это температуры $T>T_{veg}=5$ °C (рассматривалось также значение $T_{veg}=10$ °C).

s — скорость выращивания новой биомассы из семян.

γ — удельная скорость отмирания многолетней биомассы.

Удельная скорость продукции биомассы описывается функцией:

$$V(T, W, E, B) = V_0 \cdot U(T, T_0, T_{opt}, T_{max}, 1, \alpha_{TV}) \cdot U(W, W_0, W_{opt}, W_{max}, 1, \alpha_{WV}) \cdot E \cdot [1 - B / (K_{BLIM} \cdot E \cdot W)]$$

Удельная скорость отмирания однолетней биомассы резко возрастает при наступлении конца сезона вегетации; она описывается функцией

$$DF(T, W) = \begin{cases} d_{veg} & \text{если } (T > T_{veg} \text{ и } W > 0) \\ d_{noveg} & \text{если } (T \leq T_{veg} \text{ или } W \leq 0) \end{cases} ; \text{ где } d_{veg} = 0,001; d_{noveg} = 2,0.$$

$$VEG(T, W) = \begin{cases} 1 & \text{если } (T > T_{veg} \text{ и } W > 0) \\ 0 & \text{если } (T \leq T_{veg} \text{ или } W \leq 0) \end{cases}$$

Функция, показывающая наличие или

отсутствие условий для вегетации.

Модель почвы

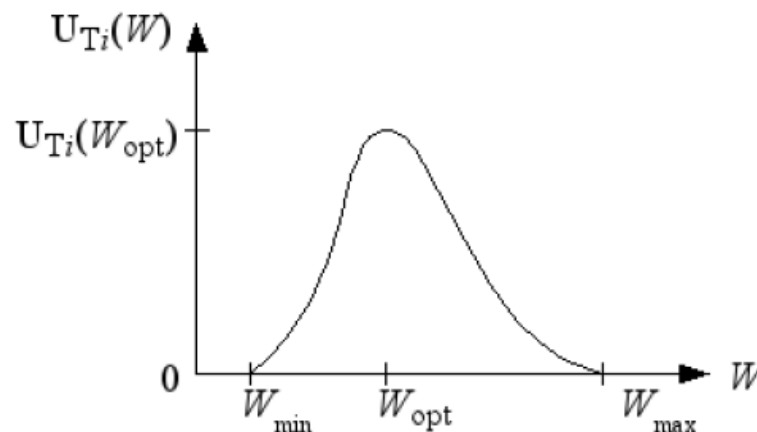
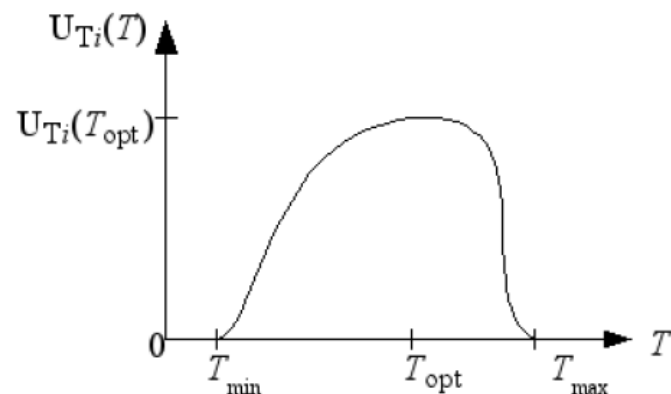
$$\frac{dD}{dt} = A_D \cdot (DF(T, W) \cdot B_2) + \gamma_D B_1 - k_1(T, W) \cdot D - k_2(T, W) \cdot D - k_6(T, W) \cdot D$$

$$\frac{dM}{dt} = A_M \cdot (DF(T, W) \cdot B_2) + \gamma_M B_1 + k_2(T, W) \cdot D - k_3(T, W) \cdot M - k_4(T, W) \cdot M$$

$$\frac{dR}{dt} = k_4(T, W) \cdot M + k_6(T, W) \cdot D - k_5(T, W) \cdot R$$

Коэффициенты скоростей реакций трансформации и разложения почвенной органики предполагаются зависящими от параметров среды, а именно от T и W . Эта зависимость задана как произведение унимодальных функций от температуры и от доступной влаги.

$$k_i(T, W) = c_i \cdot U_{Ti}(T) \cdot U_{Wi}(W), \text{ где } c_i = \text{const}$$



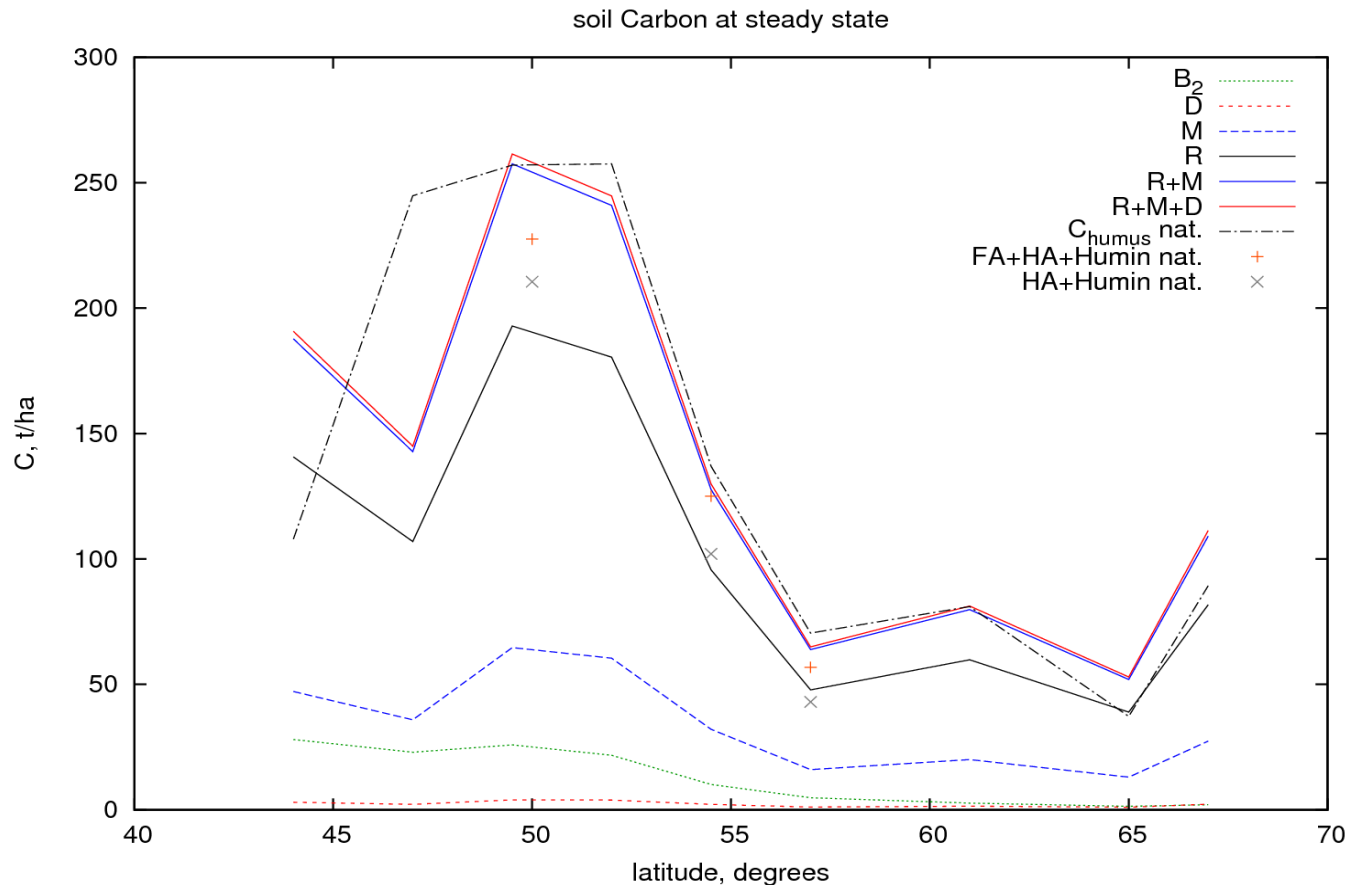
$$U(x, x_1, x_2, x_o, y_o, \alpha) = \begin{cases} 0 & \text{if } x < x_1 \\ A \cdot (x - x_1)^\alpha (x_m - x + x_l)^\beta & \text{if } x_1 \leq x \leq x_2 \\ 0 & \text{if } x > x_2 \end{cases}$$

$$k_i(T, W) = c_i \cdot U(T(\varphi, t - \tau_w), T_{min}, T_{max}, T_{opt_i}, 1, \alpha_{Ti}) \cdot U(W(\varphi, t - \tau_w), W_{min}, W_{max}, W_{opt_i}, 1, \alpha_{Wi}),$$

$$k_i(T, W) = c_i \cdot \exp(-308/(T+46)) \cdot U(W(\varphi, t - \tau_w), W_{min}, W_{max}, W_{opt_i}, 1, \alpha_{Wi}),$$

$$E(\varphi, t) = [-7,805 + 1,157\varphi - 0,0062\varphi^2] \cdot \sin(t \cdot \pi/6 - \pi/2) + [39,1 - 0,29\varphi + 3,1 \cdot \exp((\varphi - 74)^2)]$$

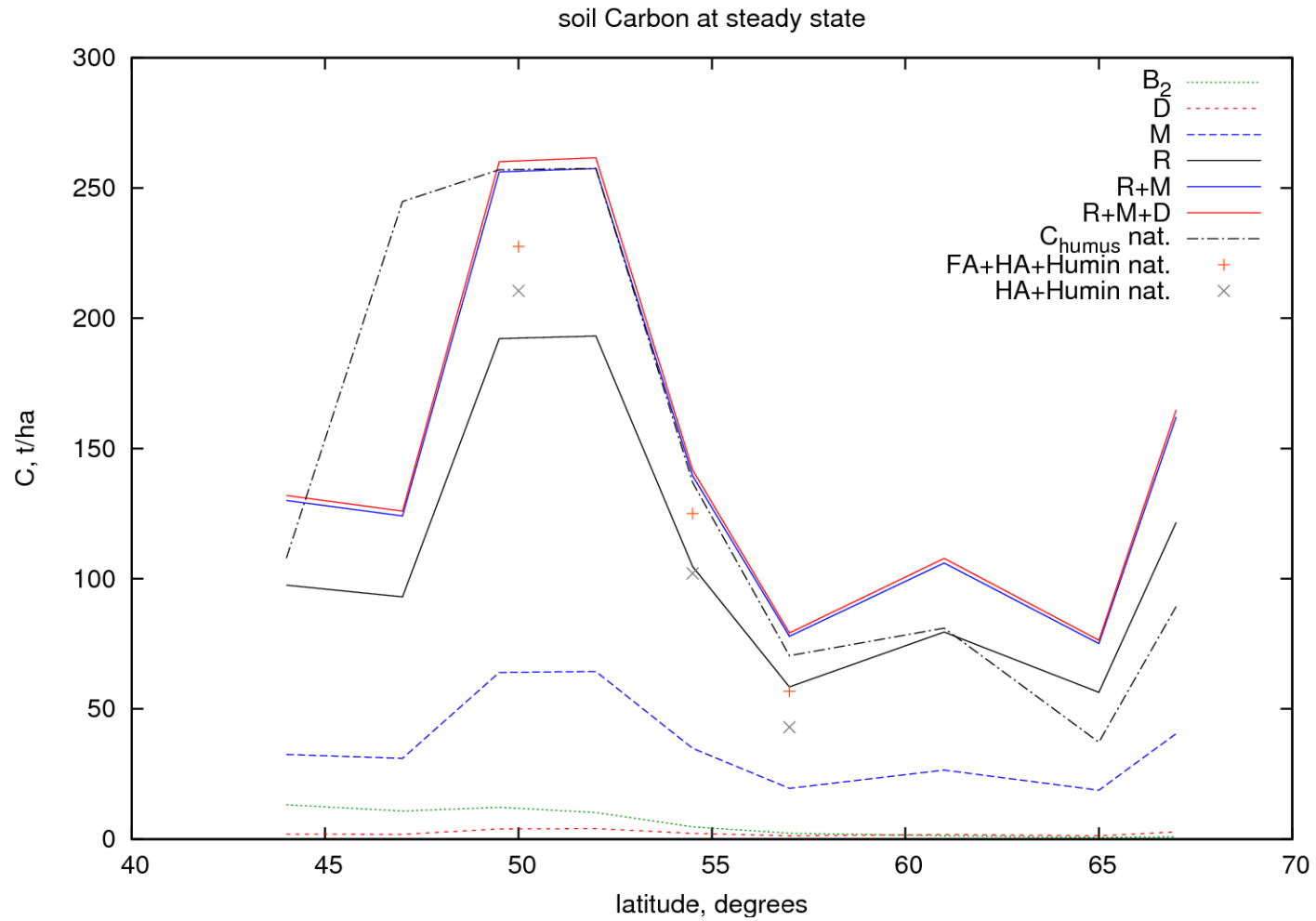
Распределения почв вдоль выделенного меридиана при унимодальной зависимости процессов от температуры



Источники

1. http://mir-map.ru/440150_BIG_0_0.jpg
2. http://mir-map.ru/440177_BIG_0_0.jpg
3. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н. Запасы углерода органических соединений в почвах Российской Федерации // Почвоведение, 1995, №1, 21-32
4. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н. Устойчивость органических соединений почвы и эмиссия парниковых газов в атмосферу // Почвоведение, 1998, №7, 783-793
5. Добровольский Г.В., Урусевская И.С. География почв М.:Изд-во Моск. ун-та : Наука, 2006

Распределения при температурной зависимости процессов по Ллойд-Тейлору



Модель почвы получилась сравнимой по сложности с моделью биосферы...

... и, тем не менее, убожество модели по сравнению со сложностью почвы, как ее видят почвоведы бросается в глаза.

Дальнейшее усложнение модели и ее детализация на данном этапе не представляются эффективными из-за большой вариативности объекта исследования, невозможности отследить все влияющие факторы и из эстетических соображений.

Тем более, что, чем точнее определен факт, тем дальше от истины он может оказаться.

Значит нужно идти в сторону упрощения модели, выделения базового конструкта.

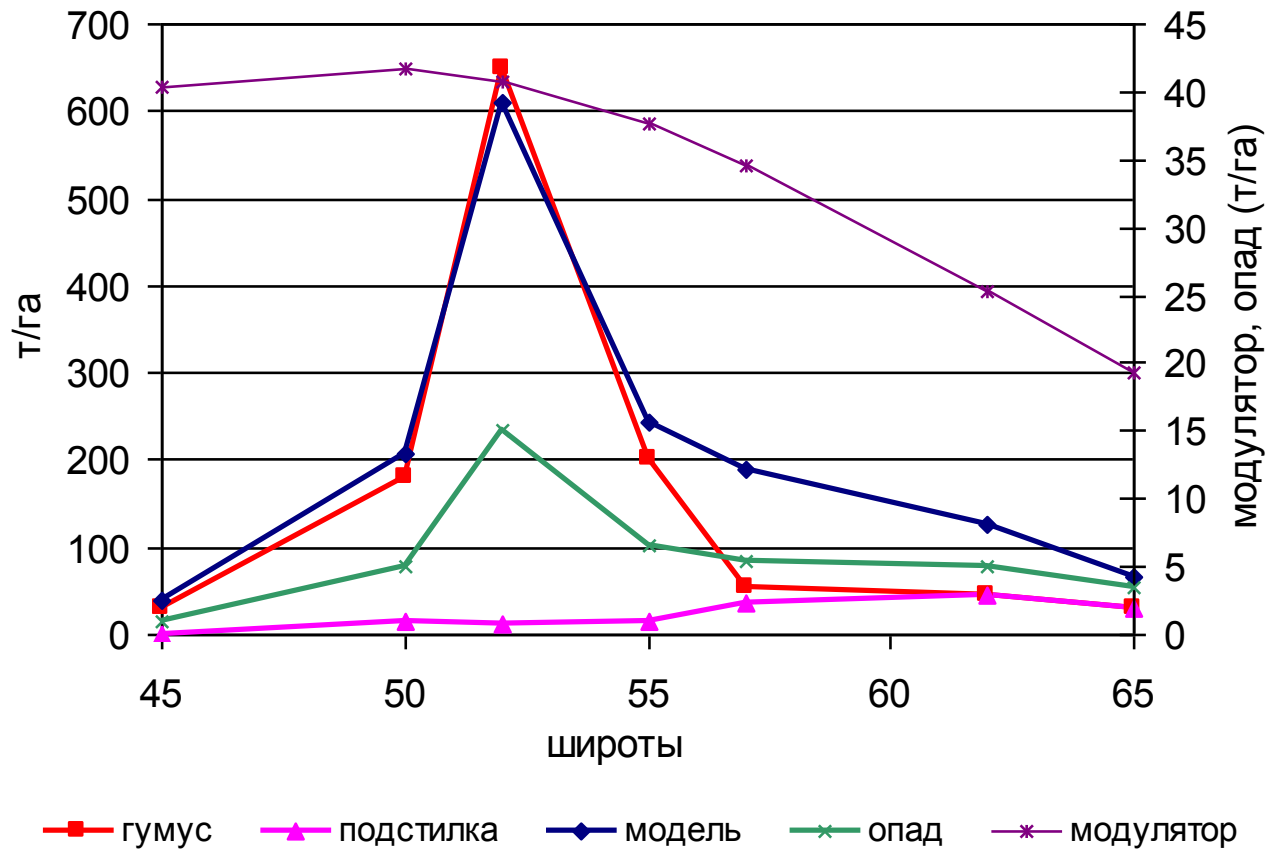
Гипотеза: Вследствие единства живой природы базовая схема процессов формирования почвы универсальна и является инвариантной по отношению к внешним условиям среды, которые выступают в качестве модуляторов почвенной структуры.

К построению базовой схемы можно идти двумя путями:

- 1) Традиционный в физике и биофизике подход, заключающийся в построении серии вариантов наипростейших моделей, с выбором наиболее адекватной модели, допускающей последовательное дополнение.**
- 2) Использование нейронных сетей и систем Data Mining для выявления причинно-следственных связей между типом почв и условиями их формирования.**

Простейший модулятор

$$V(\varphi) = O(\varphi)[V_m W(\varphi) A(\varphi)]$$



Здесь $O(\varphi)$ – распределение опада по широтам; $W(\varphi)$ – распределение влажности почвы по широтам; $A(\varphi)$ – активность почвенных процессов по Ллойд-Тейлору.

Более сложный модулятор

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dD}{dt} = B(\varphi) - k_1(\varphi)D - k_T(\varphi)D \\ \frac{dM}{dt} = k_T(\varphi)D - k_2(\varphi)M - k_{TT}(\varphi)M \\ \frac{dR}{dt} = k_{TT}(\varphi)M - k_3(\varphi)R \end{array} \right. \quad \Rightarrow \quad \begin{array}{l} \bar{D} = \frac{B(\varphi)}{k_1(\varphi) + k_T(\varphi)} \\ \bar{M} = \left(\frac{k_T(\varphi)}{k_1(\varphi) + k_T(\varphi)} \right) \frac{B(\varphi)}{k_2(\varphi) + k_{TT}(\varphi)} \\ \bar{R} = \left(\frac{k_T(\varphi)}{k_1(\varphi) + k_T(\varphi)} \right) \left(\frac{k_{TT}(\varphi)}{k_2(\varphi) + k_{TT}(\varphi)} \right) \frac{B(\varphi)}{k_3(\varphi)} \end{array}$$

$$k_i(T, W) = c_i \cdot \exp(-308/(T+46)) \cdot U(W(\varphi, t - \tau_W), W_{min}, W_{max}, W_{opt_i}, 1, \alpha_{W_i}),$$

$$k_i(T, W) = c_i \cdot U(T(\varphi, t - \tau_T), T_{min}, T_{max}, T_{opt_i}, 1, \alpha_{T_i}) \cdot U(W(\varphi, t - \tau_W), W_{min}, W_{max}, W_{opt_i}, 1, \alpha_{W_i}),$$

$$\bar{D} = \frac{B(\varphi)}{k_1(\varphi)}$$

$$\bar{M} = f_1(\varphi) \frac{B(\varphi)}{k_2(\varphi)}$$

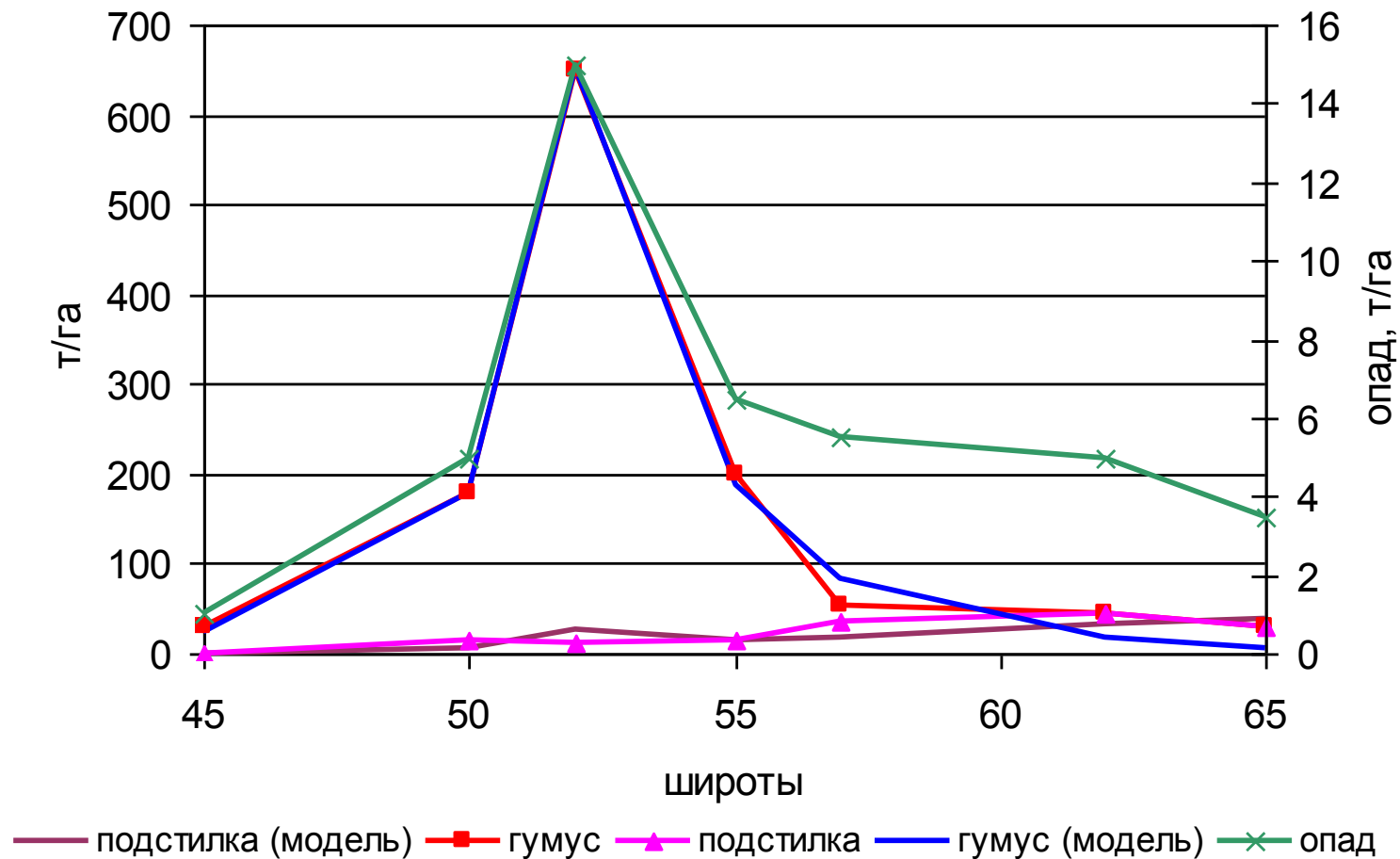
$$\bar{R} = f_1(\varphi) f_2(\varphi) \frac{B(\varphi)}{k_3(\varphi)}$$

где

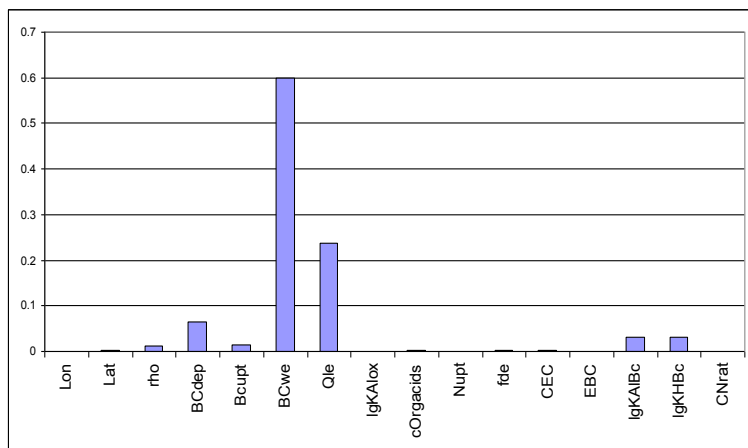
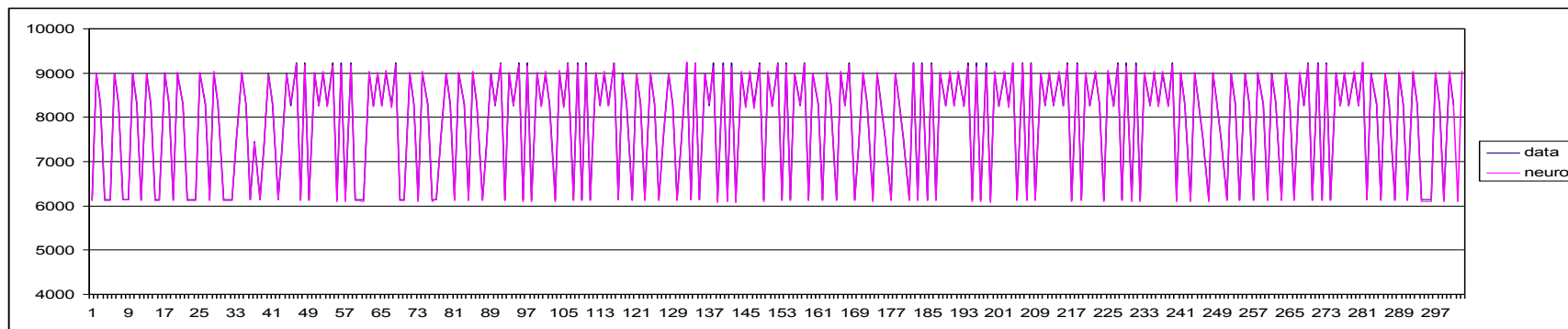
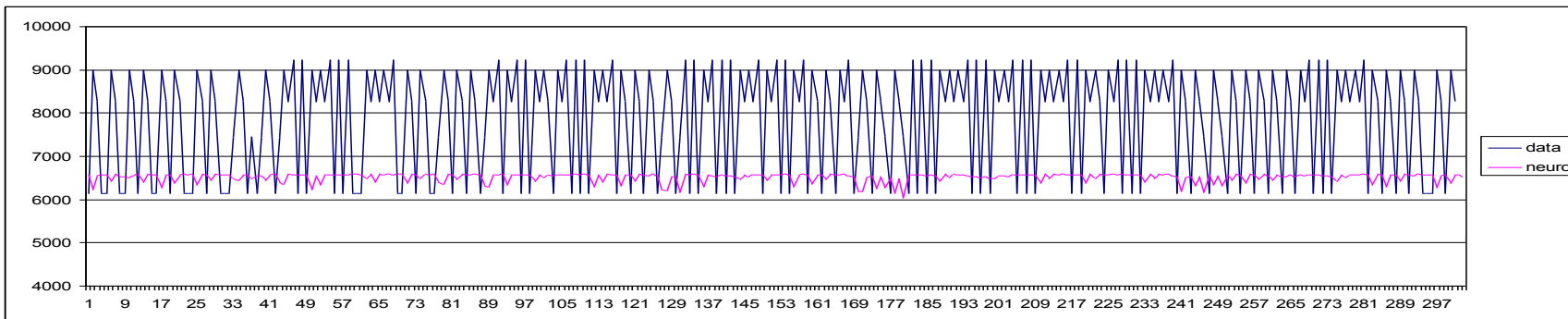
$$f_1(\varphi) = \left(\frac{k_T(\varphi)}{k_1(\varphi) + k_T(\varphi)} \right) = \left(\frac{1}{k_1(\varphi) / k_T(\varphi) + 1} \right)$$

$$f_2(\varphi) = \left(\frac{1}{k_2(\varphi) / k_{TT}(\varphi) + 1} \right)$$

Более сложный модулятор



Нейросетевое моделирование запасов углерода в рассматриваемом почвенном слое для европейской территории России



Ключевые параметры прогноза

Поступление катионов (Ca, Mg, K, Na) с атмосферными выпадениями

Поступление Ca, Mg, K, Na за счет внутрипочвенного выветривания минералов

Слой осадков (в м) за счет инфильтрации

Коэффициент для оценки токсичности почвенного раствора по соотношению H/Al; используется для болотных почв

Труды международных конференций

1. Барцев С.И., Щемель А.Л., Иванова Ю.Д. Минимальная биосферная модель для прогноза наихудшего варианта биосферной динамики в пределах неопределенности оцени параметров // SIMULATION-2010. - Киев, Украина.
2. Bartsev S.I., Degermendzhi A.G., Belolipetsky P.V. Principle of the worst scenario in the modeling of biosphere-climate dynamics // International Conference on Environmental Observations, Modeling and Information Systems ENVIROMIS-2010, Tomsk, Russia, P.65, ISBN 978-5-89702-264-9.
3. Bartsev S.I., Pohekutov A.A. Mathematical modelling of soil respiration and carbon accumulation dynamics in soils of CELSS // 38th COSPAR Scientific Assembly. 2010. - Bremen, Germany
4. Bartsev S.I., Lankin Yu.P., Saltykov M.Yu. Dependence of CELSS model stability on the properties of metabolism of composing organisms // 38th COSPAR Scientific Assembly. 2010. - Bremen, Germany
5. Botvich, I.; Sidko, A.; Pisman, T.; Shevyrnogov, A. Determination of chlorophyll photosynthetic potential in vegetation using ground-based and satellite methods // 38th COSPAR Scientific Assembly. — Germany, 2010. — A31-0013-10
6. Chernetskiy, M. A study of forest phenology of Southern Central Siberia from regional to subcontinental level using interannual time series of remote sensing data // COSPAR Scientific Assembly. — Germany, 2010. — A31-0002-10
7. Ivanova Y., Larko A., Ovchinnikova N., Saltykov M. Comparison And Estimation of Regional And Satellite Data On NPP // The 2nd International Geography Symposium, GEOMED 2010. - Kemer/Antalya, Turkey.
8. Ivanova Y., Larko A., Taseyko O. Impact Assessment of Oil & Gas Extraction in Forest Ecosystems Using Satellite Data. // The 2nd International Geography Symposium, GEOMED 2010. - Kemer/Antalya, Turkey.
9. Ivanova, Y.; Larko, A.; Mikhailuta, S. Effect of oil and gas mining on forest ecosystems // 38th COSPAR Scientific Assembly. 2010. - Bremen, Germany.
10. Pasko, I.; Chernetskiy, M. A study of land surface temperature space-time distribution in Central-Siberian permafrost areas using MODIS data // 38th COSPAR Scientific Assembly. — Germany, 2010. — A31-0093-10
11. Shchemel, A.; Ivanova, Y.; Larko, A. Remote analysis of anthropogenic effect on boreal forests using nonlinear multidimensional models // 38th COSPAR Scientific Assembly. 2010. - Bremen, Germany.

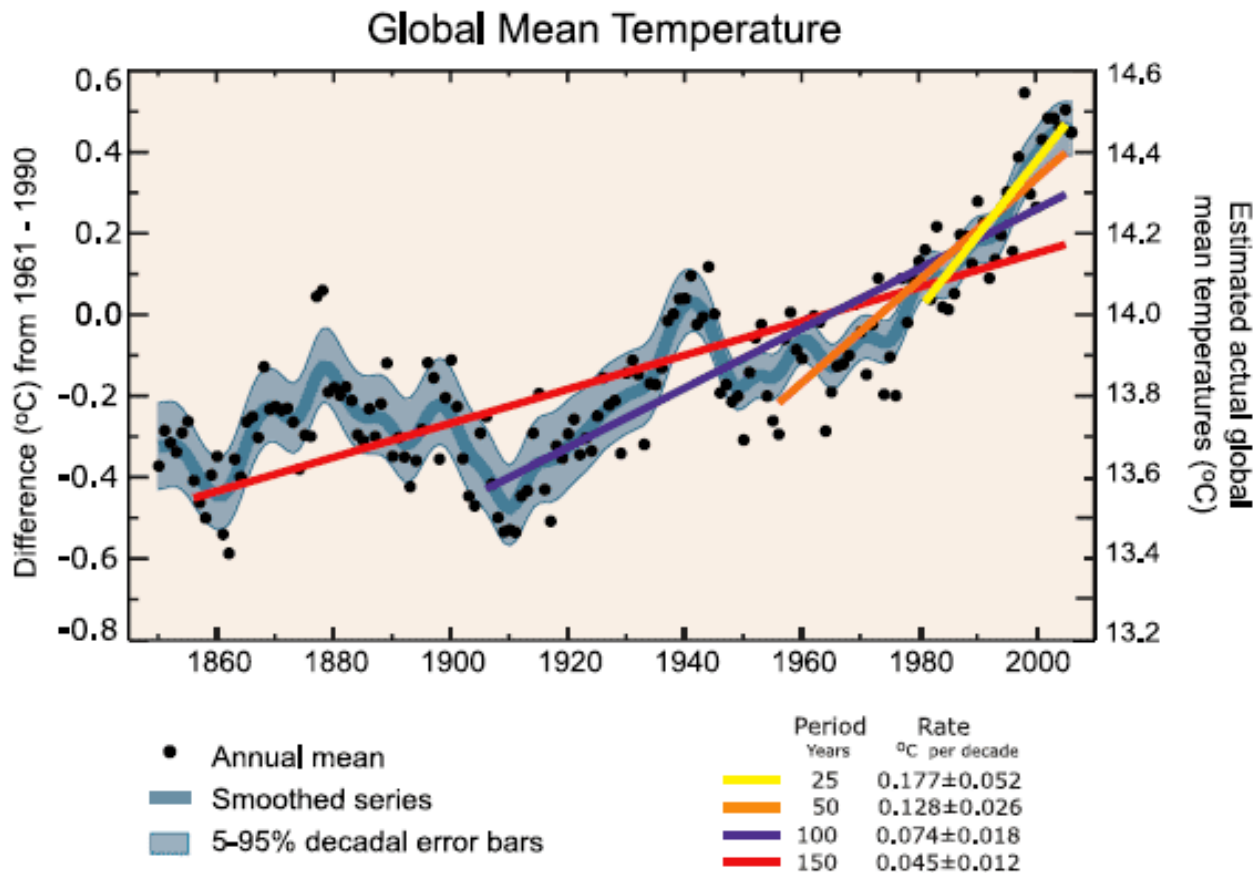
Труды российских конференций

1. **Иванова Ю. Д. Прогноз наихудших вариантов биосферной динамики на основе анализа минимальной биосферной модели. // Всероссийский Симпозиум с международным участием «Сложные системы в экстремальных условиях». 2010. - Красноярск, Россия.**
2. **Почекутов А.А., Барцев С.И. Математическое моделирование динамики углерода в компонентах почвы в зависимости от температуры и влажности // Биосферные функции почвенного покрова, Материалы Всероссийской научной конференции. Пущино: SYNCHROBOOK, 2010. – 380 с. ISBN 5-91874-032-3. С.248-249.**

Зарегистрированные программы для ЭВМ и базы данных

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, № 2010611807. Целевая обработка спутниковых изображений (наземная растительность, температура поверхности океана) / Ходяев А.В., Пасько И.В., Шевырногов А.П., Картушинский А.В. - № 2010610449; заявл. 26.01.2010, зарег. 09.03.2010.

Спасибо за внимание



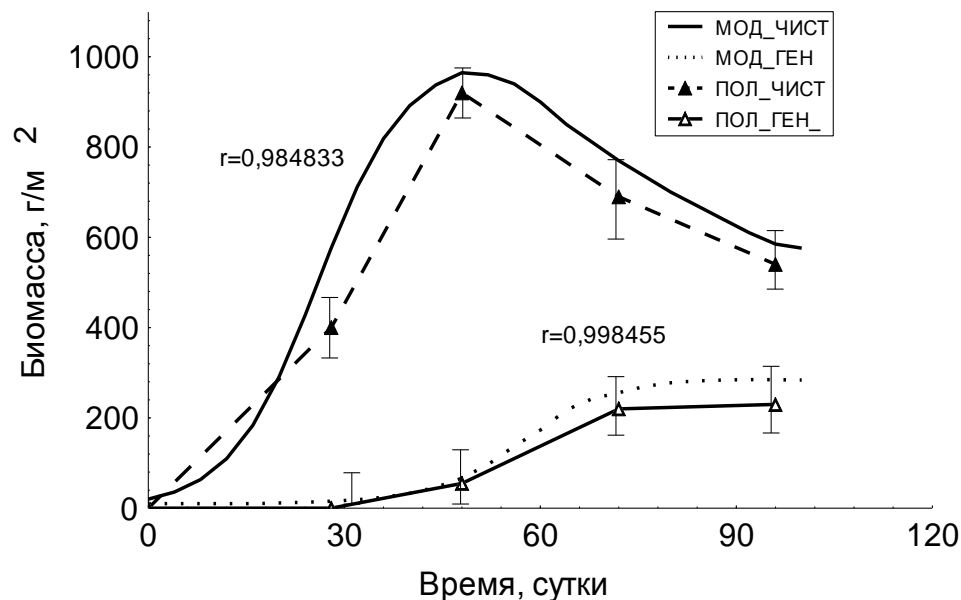
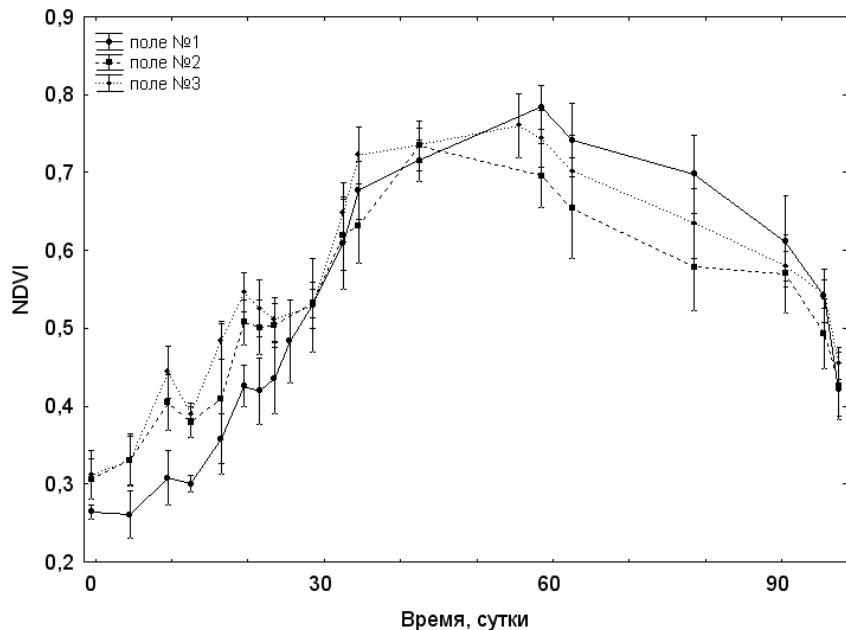
Динамика глобальной температуры за последние 150 лет. Температура не просто растет, а растет все быстрее и быстрее. Нейросетевой анализ показал, что 1) с помощью одних только быстро протекающих природных явлений, какими бы сложными они ни были, график температур описать невозможно — нужно обязательно ввести дополнительную «возмущающую» силу. А во-вторых, эта сила точь-в-точь совпадает с темпами индустриального развития, что позволяет идентифицировать ее с антропогенным воздействием.

P. F. Verdes. Global Warming Is Driven by Anthropogenic Emissions: A Time Series Analysis Approach . Phys. Rev. Lett. 99, 048501 (2007)

Одним из важнейших показателей климата в контексте парниковой гипотезы является чувствительность климата.

Определим чувствительность климата как установившееся изменение глобальной среднегодовой поверхностной температуры воздуха ΔT [°C], вследствие радиационного воздействия ΔR_f [Вт м⁻²], которое является результатом удвоения CO₂.

Оценка точности прогноза продуктивности растений с помощью математической модели и данным дистанционного зондирования Земли из космоса на примере агрофитоценозов



- **Рис. 1 (слева).** Динамика значений NDVI территории Минусинского района, засеянной пшеницей, в 2006 г. За начало отсчета принято 1 июня.
- **Рис. 2 (справа).** Динамика сезонного роста агроценоза пшеницы (результаты теоретических и полевых исследований). За начало отсчета принято 1 июня.
- Настоящим проектом предусматривалось комплексное применение данных дистанционного зондирования Земли из космоса, полевых исследований (которые проводить достаточно сложно) и математической модели прогноза продуктивности растений. Это сочетание трех этапов позволило отделить «засорение» от чистой продукции агроценозов и разделить продукцию вегетативной и генеративной биомассы агроценозов.