

А т м о с ф е р н о - и о н о с ф е р н ы е с в я з и и к л и м а т

Е.А.Мареев и коллеги
Институт прикладной физики РАН,
Нижний Новгород
mareev@pfran.ru

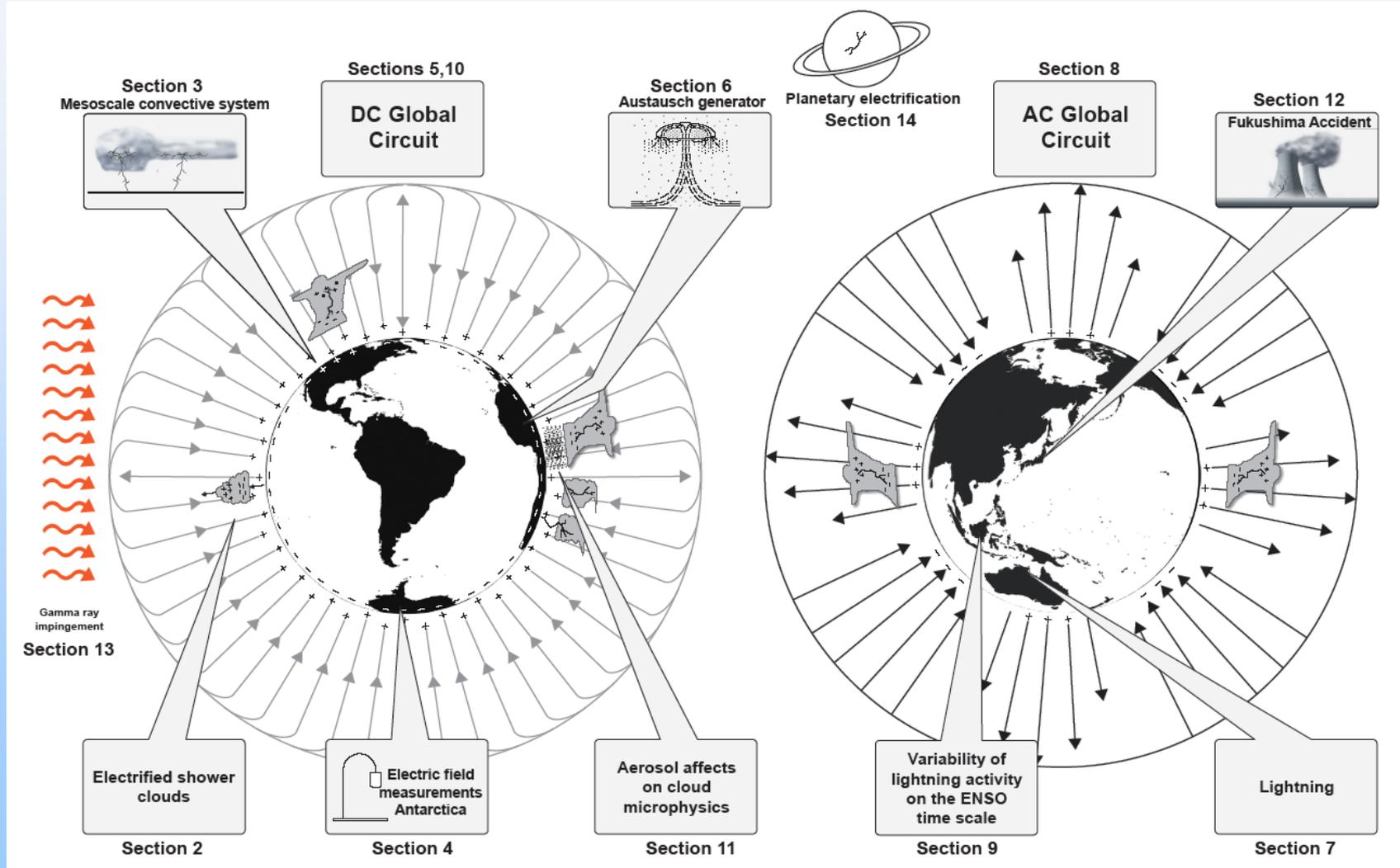
Проблемы

- Необходимость учета и «земных», и «космических» факторов при реализации мониторинга и моделирования Земной системы и ее подсистем
- Глобальная электрическая цепь – GEC (DC, AC), GEC and climate, GEC and Space Weather
- Молния: физика, климатология, молниезащита

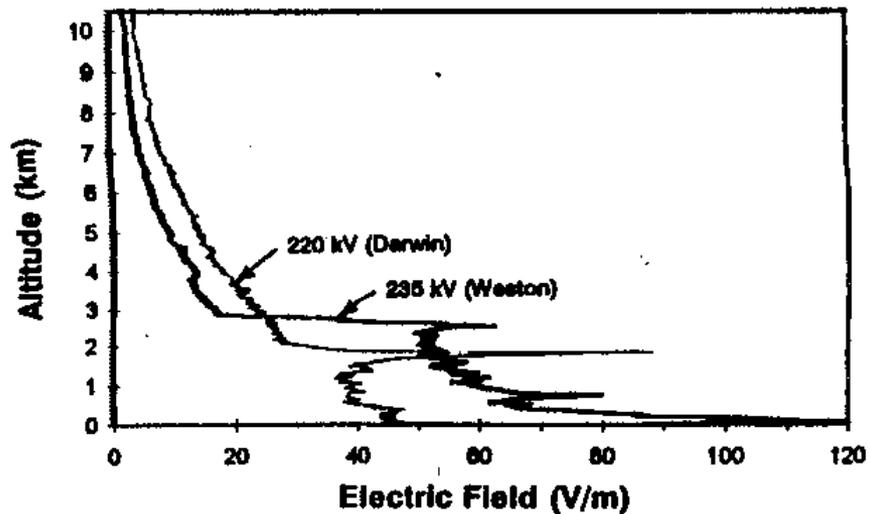
План лекции

- Введение
- 1. Состояние исследований глобальной электрической цепи (ГЭЦ).
 - 1а. ГЭЦ постоянного тока (DC-circuit).
 - 1б. ГЭЦ переменного тока (AC-circuit).
- 2. Модели Земной системы и глобальной электрической цепи.
 - 2а. Параметризация грозовой активности и ионосферного потенциала в моделях прогноза погоды и климата.
 - 2б. Роль глобальных климатических мод, включая ЭНЮК и осцилляцию Маддена-Джулиана.
- 3. Высокоэнергичные события в атмосфере и ближнем космосе,

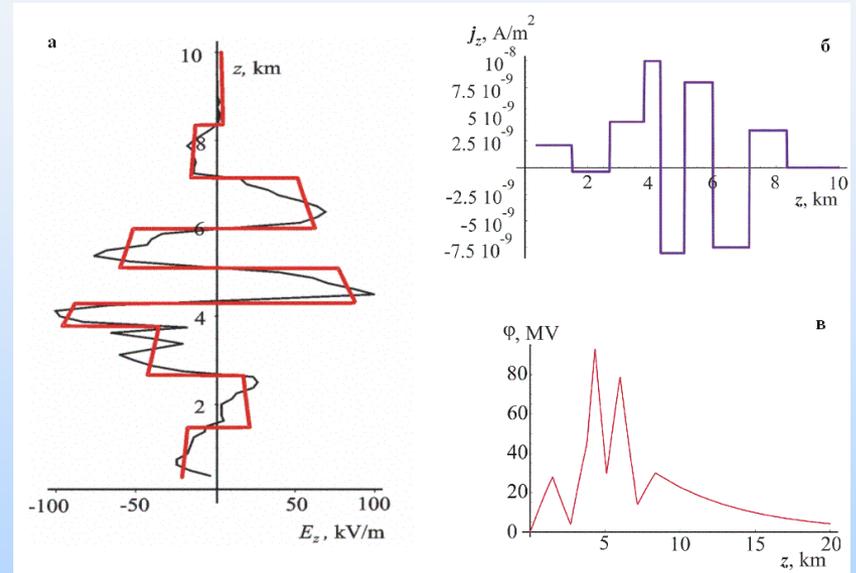
DC и AC глобальные цепи



Баллонные измерения: evidence for ionospheric potential support and current continuity

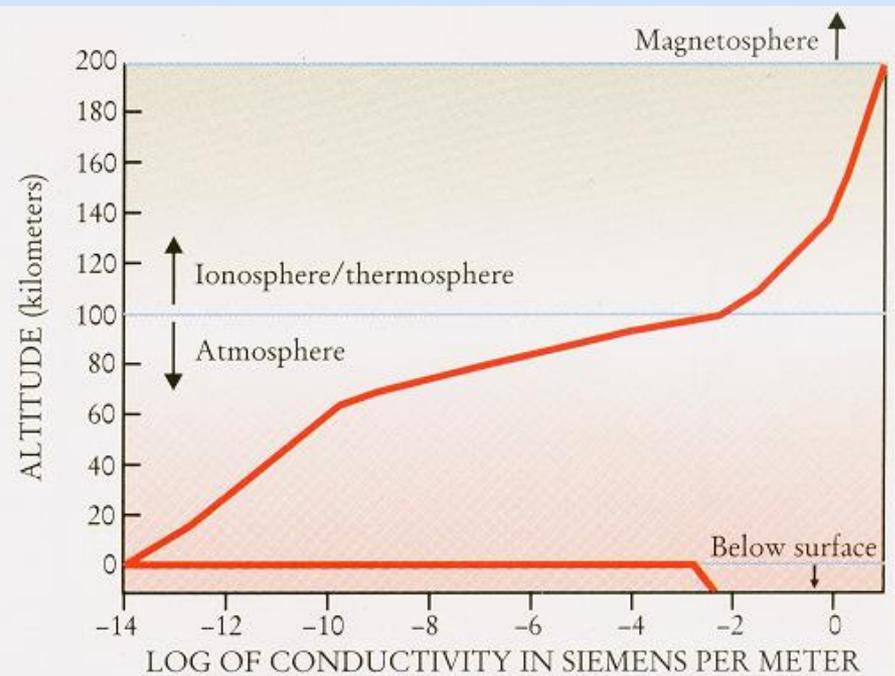
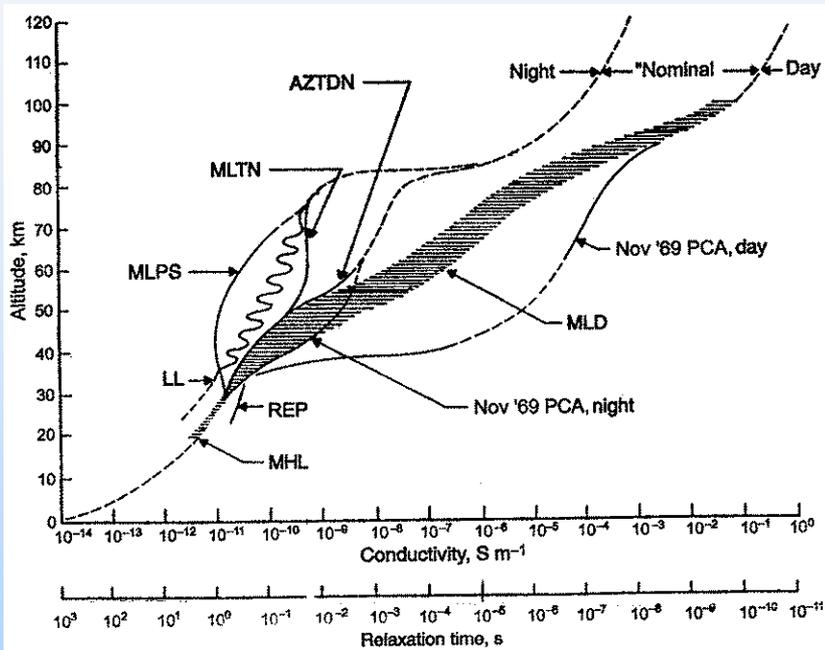


Darwin, Australia –
220 kV, Weston, USA – 235 kV
R. Markson, L. Ruhnke, E. Williams, 1996



(A-type stratiform region)
T. Marshall, S. Davydenko et al., 2006

Проводимость в атмосфере



Параметризация ионосферного потенциала

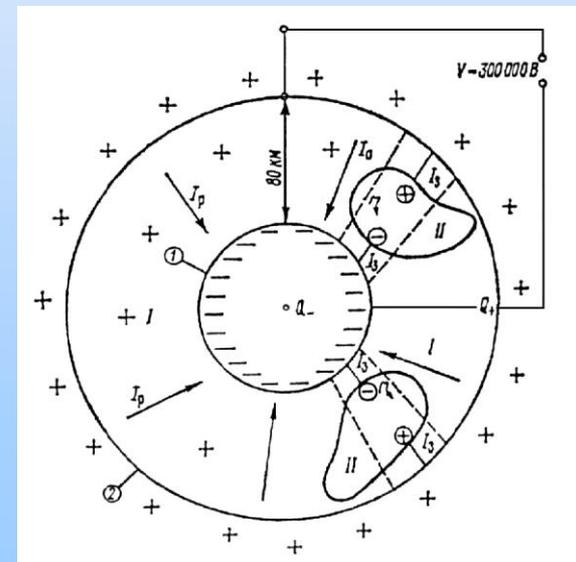
$$\tilde{\varphi}(R_i) = H \frac{j_0 S_{\perp}}{4\pi R_E^2 \sigma_0} \exp\left(-\frac{h}{H}\right) \left(1 - e^{-\frac{\Delta h}{H}}\right) = \frac{IH}{S_E \sigma_h} \left(1 - e^{-\frac{\Delta h}{H}}\right)$$

$$\sigma_h = \sigma_0 \exp(h/H)$$

$$\varphi_i = \tilde{\varphi}(R_i) = \frac{1}{4\pi \int_{v_c}} \frac{j_r dV}{\sigma(r)r^2}$$

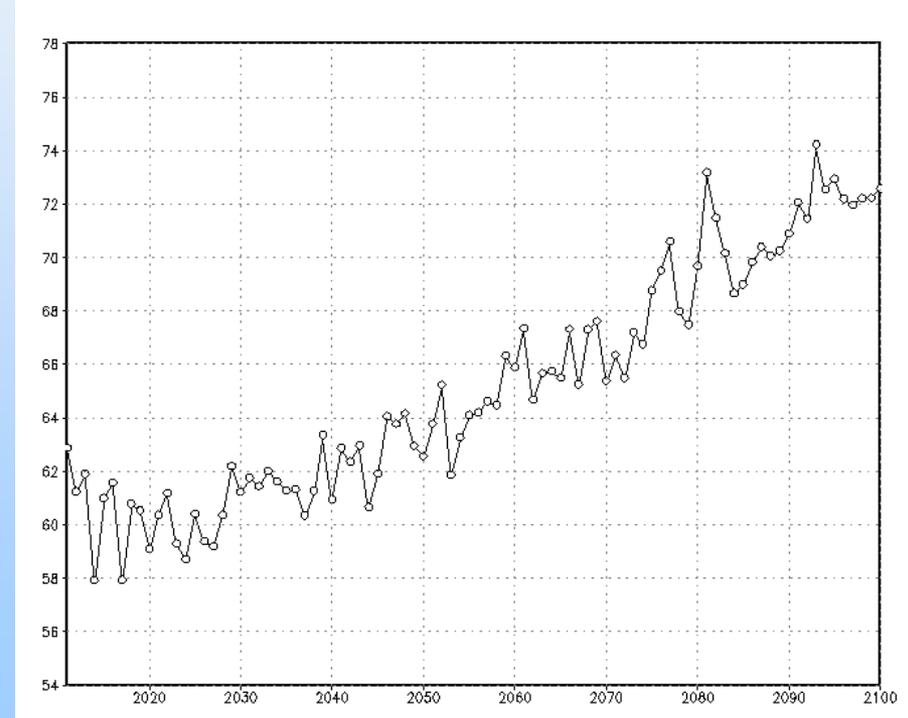
$$V_i = \frac{I_0 S H_0}{\sigma_0 S_E} \exp\left(-\frac{\Delta z}{H_0}\right) \left\{1 - \exp\left(-\frac{\Delta z}{H_0}\right)\right\}$$

Калинин А.В., Мареева О.В., Мареев Е.А., 2010



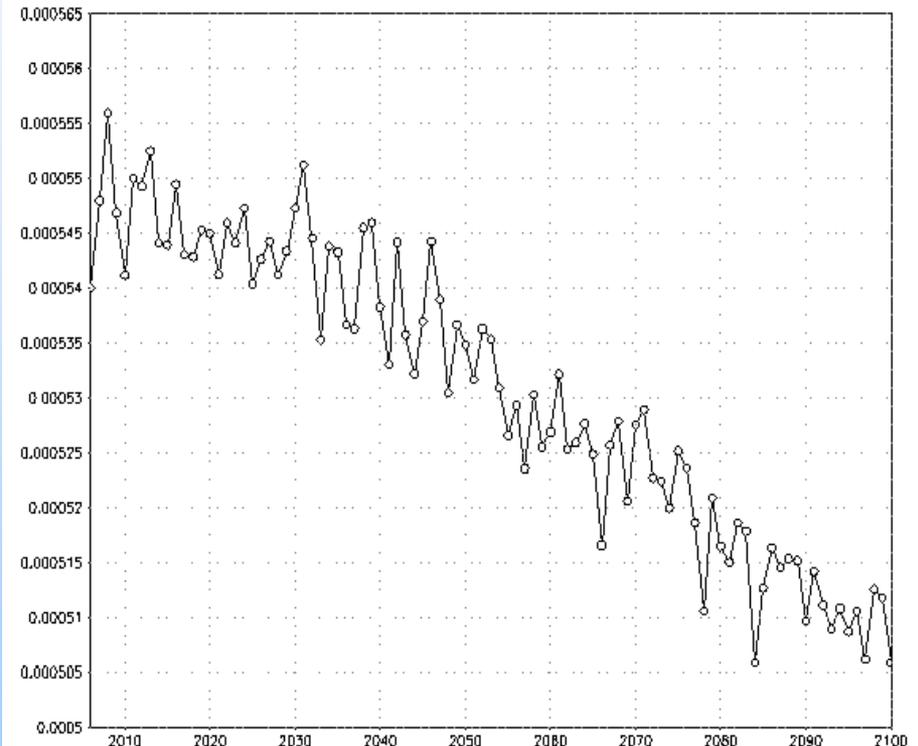
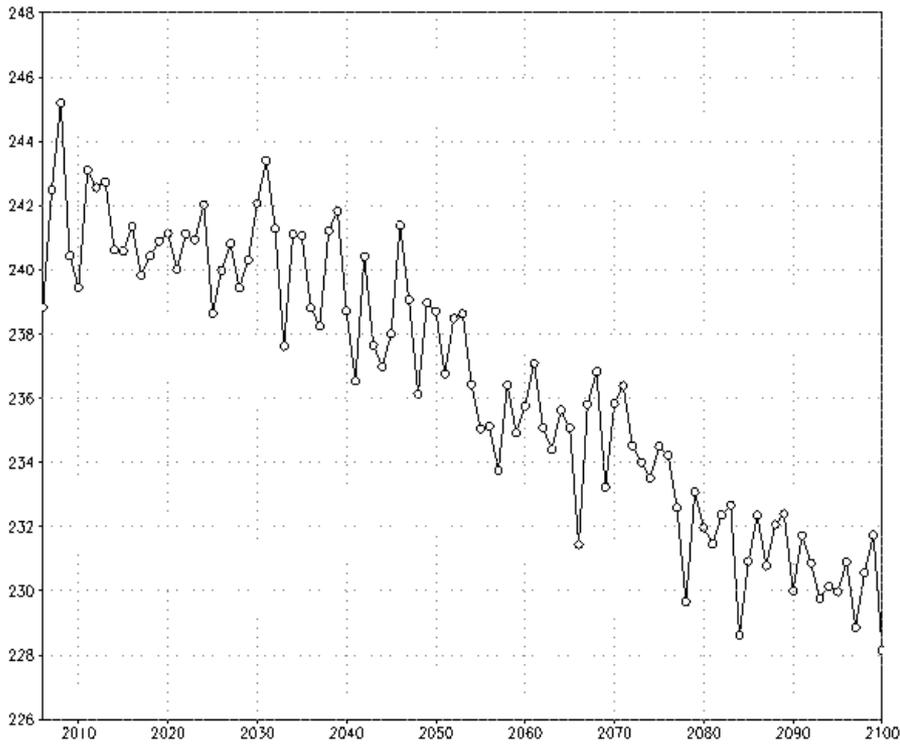
Рост среднего темпа вспышек в XXI веке

INMCM4.0: 2x1.5 deg long and lat, 21 levels; ocean -
1x0.5 deg long and lat, 40 levels; RCP 8.5



Володин Е.М., 2010

Эволюция ионосферного потенциала в XXI веке



Володин Е.М., Мареев Е.А., 2011

Энергетика атмосферного электричества

Квазистационарные токи гроз
 $3 \cdot 10^{11} \text{ W}$

Грозовые облака, MCS, Ns
 $5 \cdot 10^{13} \text{ J}$

Молниевые вспышки: пиковая мощность
 $10^9 \div 10^{13} \text{ W}$

Энергия молнии
 $10^7 \div 10^{10} \text{ J}$

Ток хорошей погоды
 $5 \cdot 10^8 \text{ W}$

Глобальный конденсатор
 $5 \cdot 10^{11} \text{ J}$

For electric energy:

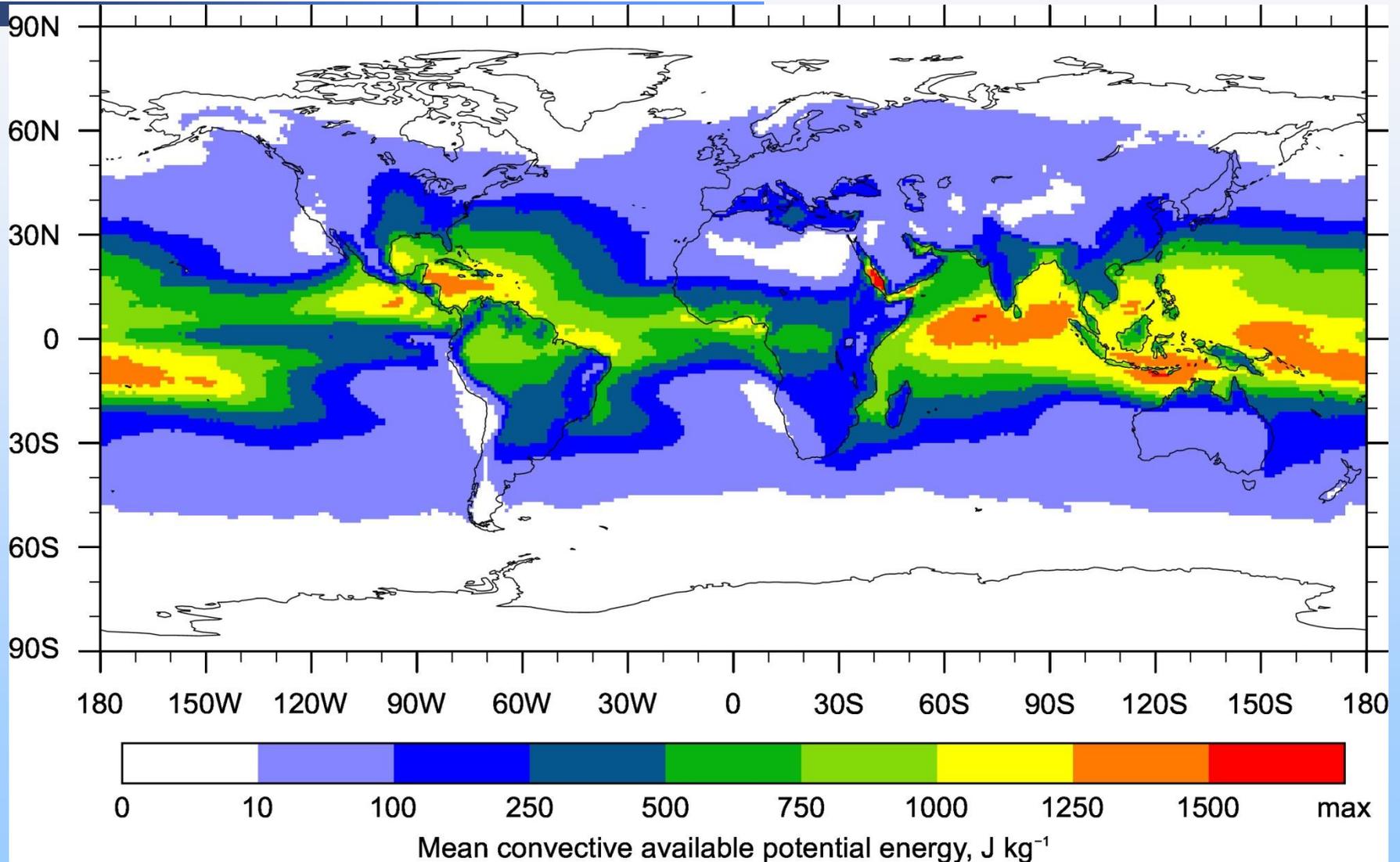
$$T_E = \frac{W_E}{\partial W_E / \partial t} \approx 2 \text{ min}$$

For kinetic energy:

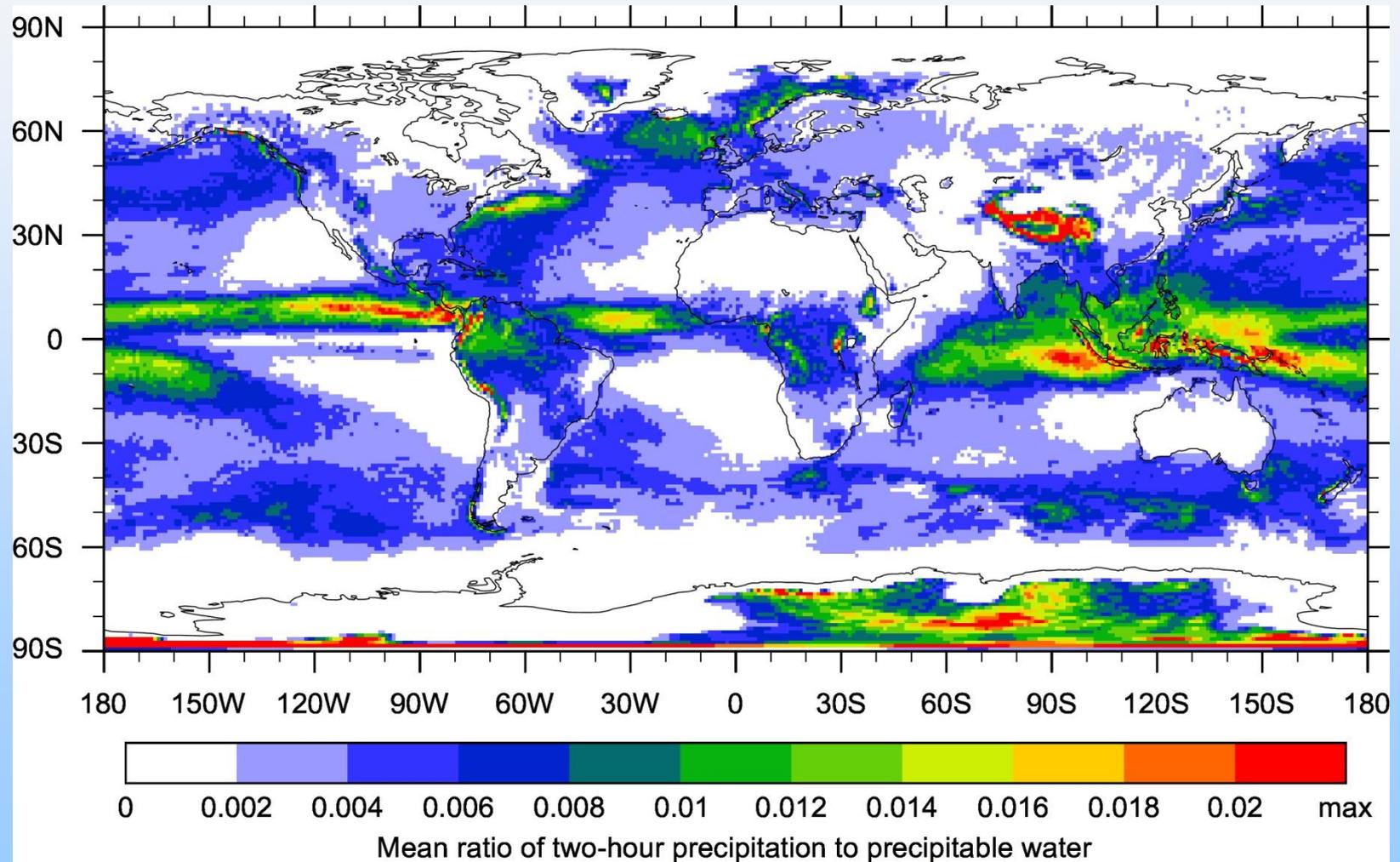
$$T_K = \frac{K}{\partial K / \partial t} \approx 4.3 \text{ days}$$

- Глобальная электрическая цепь (ГЭЦ) – индикатор состояния климатической системы
- Включение предложенной параметризации ГЭЦ в климатическую модель высокого разрешения позволяет воспроизвести суточную и сезонную вариацию ионосферного потенциала
- Потепление климата должно сопровождаться снижением ионосферного потенциала
- Важный вклад в ГЭЦ (наряду с грозовыми облаками) могут вносить: electrified shower clouds, конвекция в областях хорошей погоды, молнии

Mean annual values of maximum CAPE

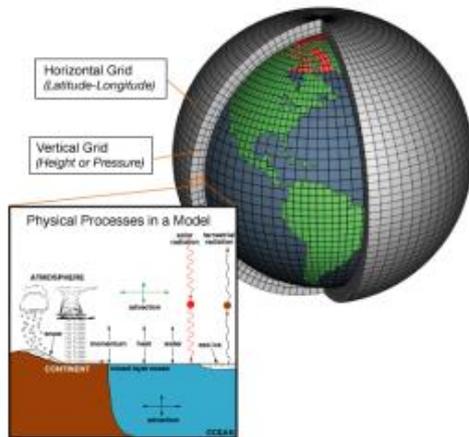


P/W ratio distribution



Modern numerical simulations

WRF model for global simulation



WRF v4.3 with $1^\circ \times 1^\circ$ cells
Lat-Lon global domain

ERA5 reanalysis data as initial condition

MP_PHYSICS = 2 (Purdue Lin)

CU_PHYSICS = 2 (Betts-Miller)

TIME_STEP = 150 s

Modelling for 1980 – 2020:

Global modelling for every third day since 31.12.1979:

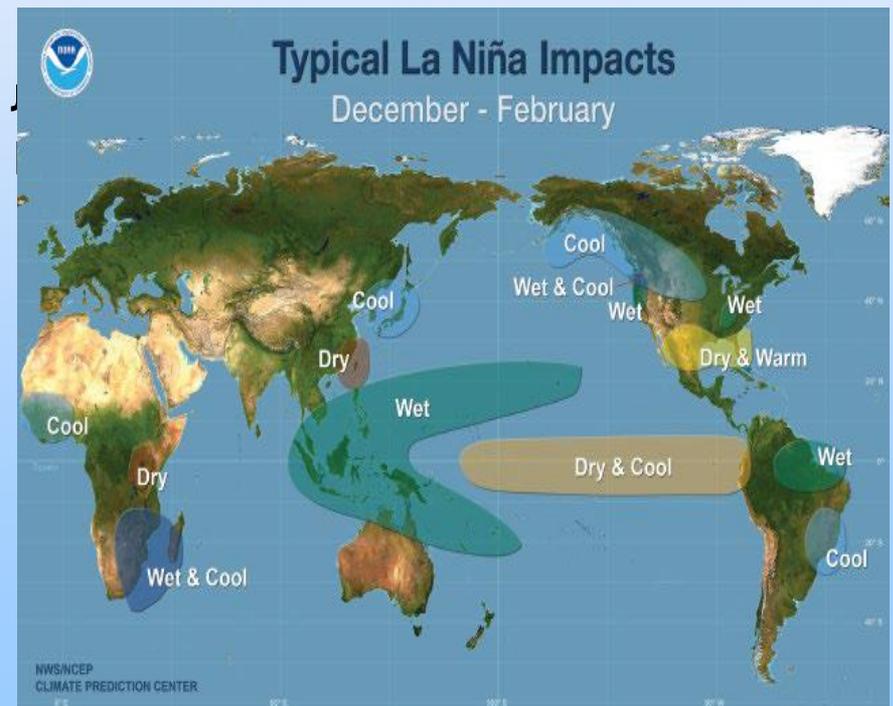
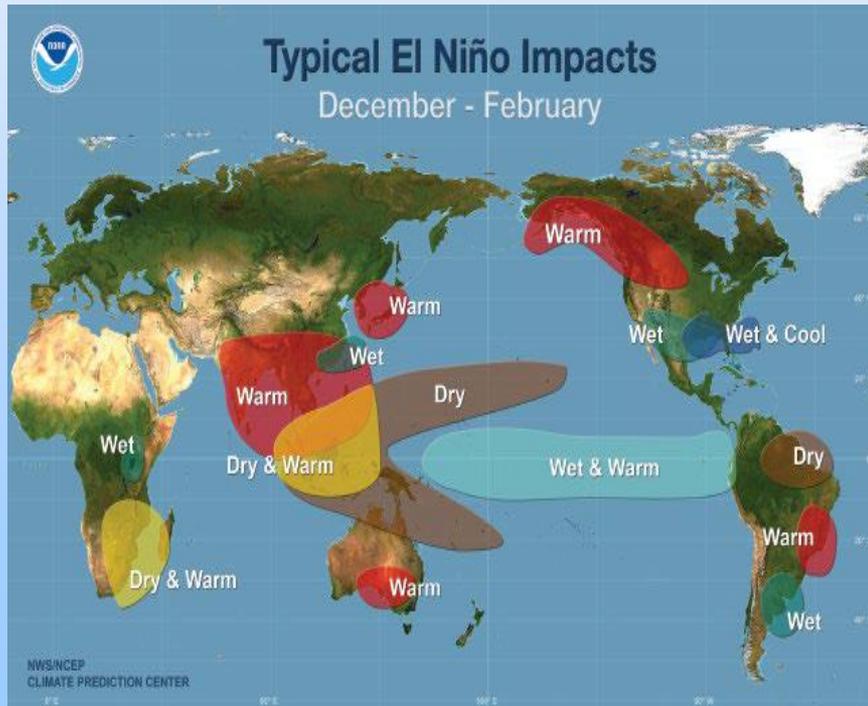
- Total 4992 simulated days
- 2 free runs with 48 hours duration for each simulated day
- Initialize at 00 UTC at 12 UTC
- One hour history interval

The results of modelling:

- **Fully restored state of atmospheric parameters** for 40 years with one hour interval
- More than **70 TB** data in WRFOUT files
- Calculations take **9 months**

Эль-Ниньо – Южное Колебание (ЭНЮК)

- ЭНЮК – наиболее важная мода климатической изменчивости после годового цикла смены времён года
- Цикл ЭНЮК состоит из нерегулярно сменяющихся друг друга тёплой фазы (Эль-Ниньо) и холодной фазы (Ла-Нинья)



(McPhaden, Santoso & Cai, 2021)

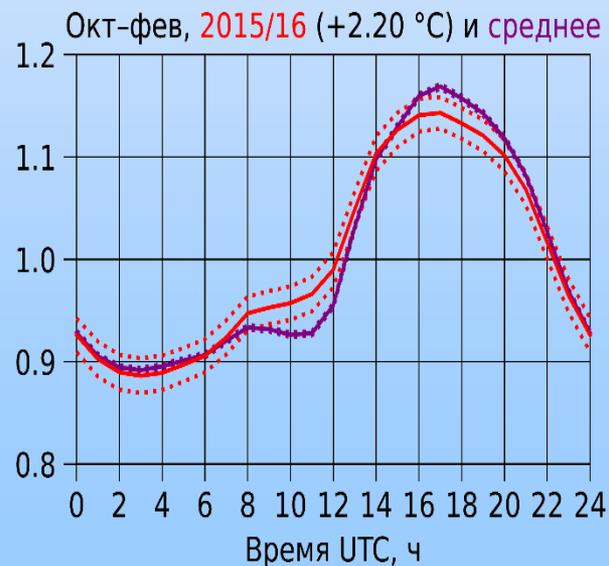
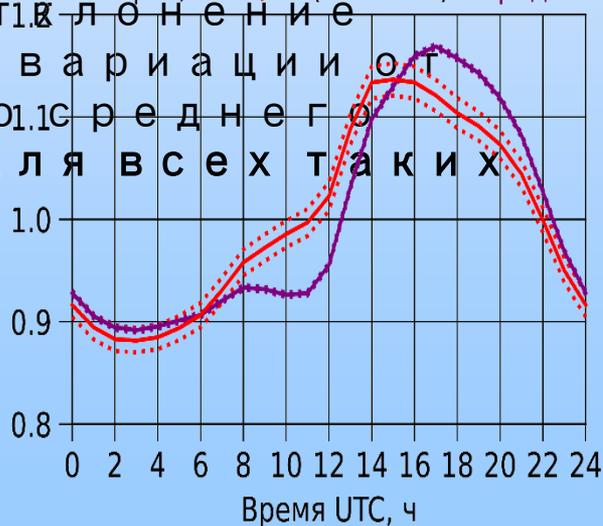
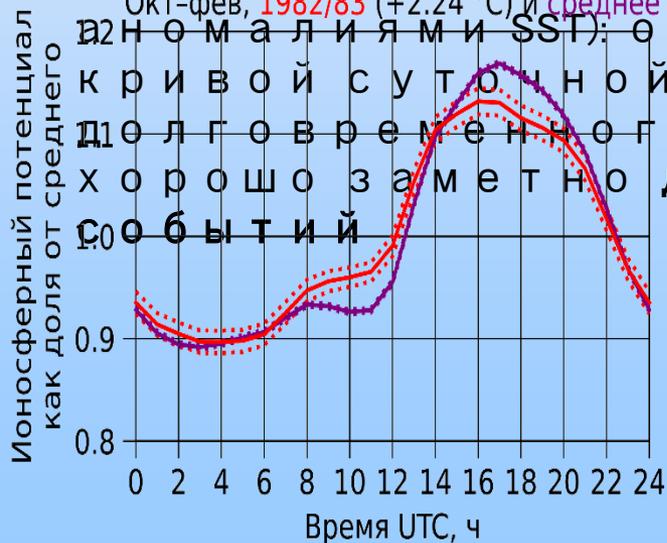
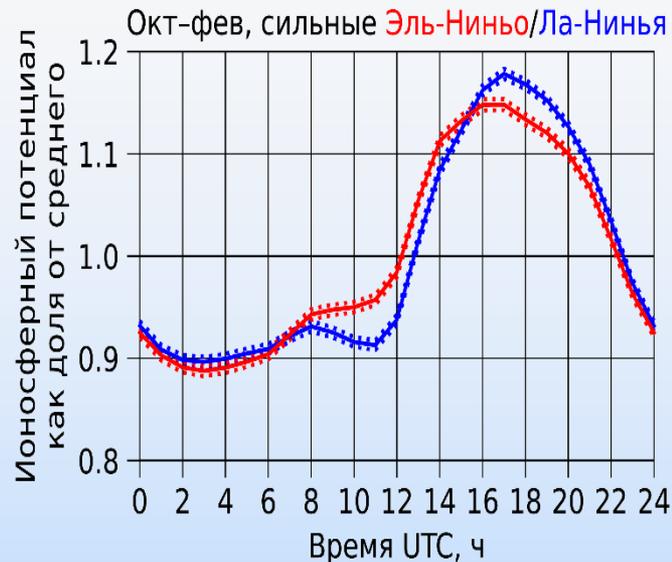
Влияние ЭНЮК на суточную вариацию ГЭЦ

- Эффекты ЭНЮК не всегда чётко видны для отдельных событий, однако хорошо проявляются при объединении данных за много лет (если сгруппировать сезоны с Эль-Ниньо и Ла-Нинья): события Эль-Ниньо и Ла-Нинья видоизменяют форму кривой суточной вариации ГЭЦ

- Особо заметное воздействие на кривую суточной вариации ГЭЦ оказывают события супер-

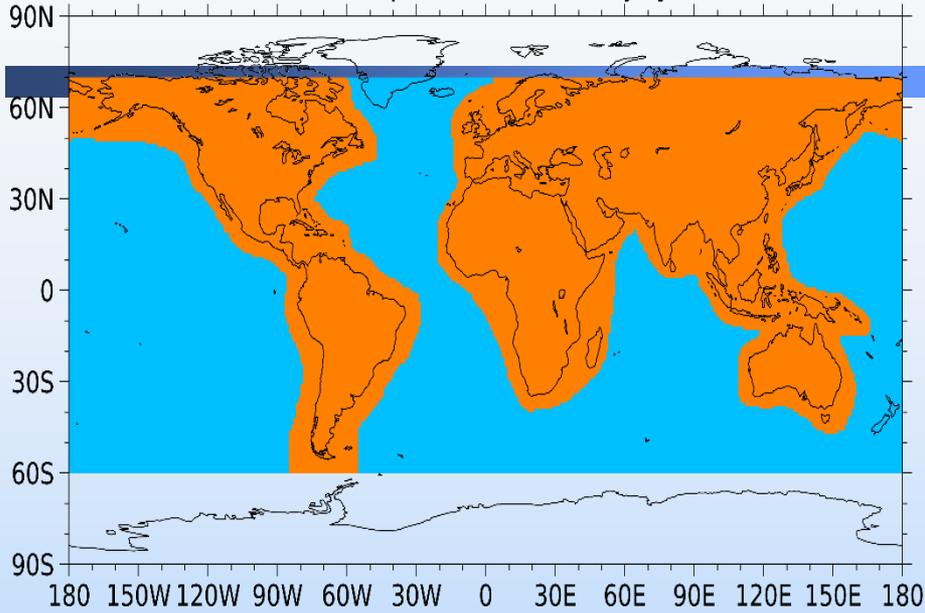
Эль-Ниньо (сочень большими аномалиями SST): отклонение

кривой суточной вариации от среднего. Это хорошо заметно для всех таких событий

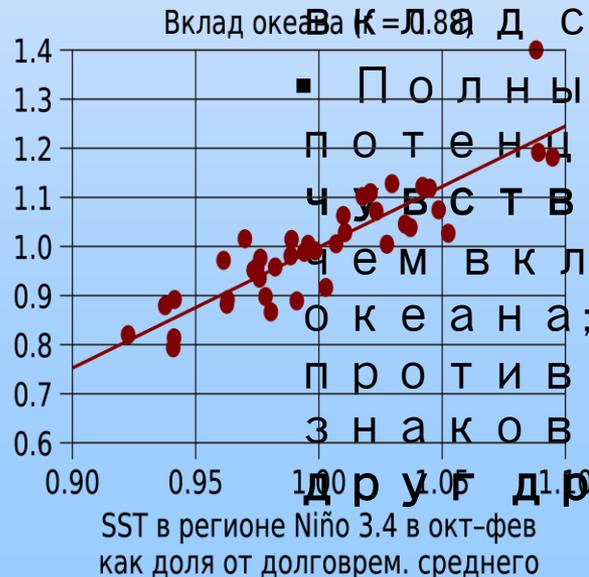
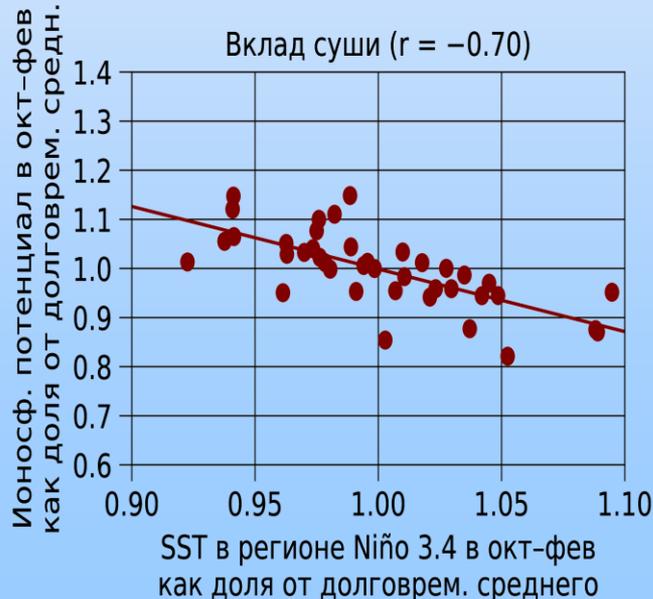


Влияние ЭНЮК на вклады суши и океана в ГЭЦ

Разбиение поверхности Земли на сушу и океан



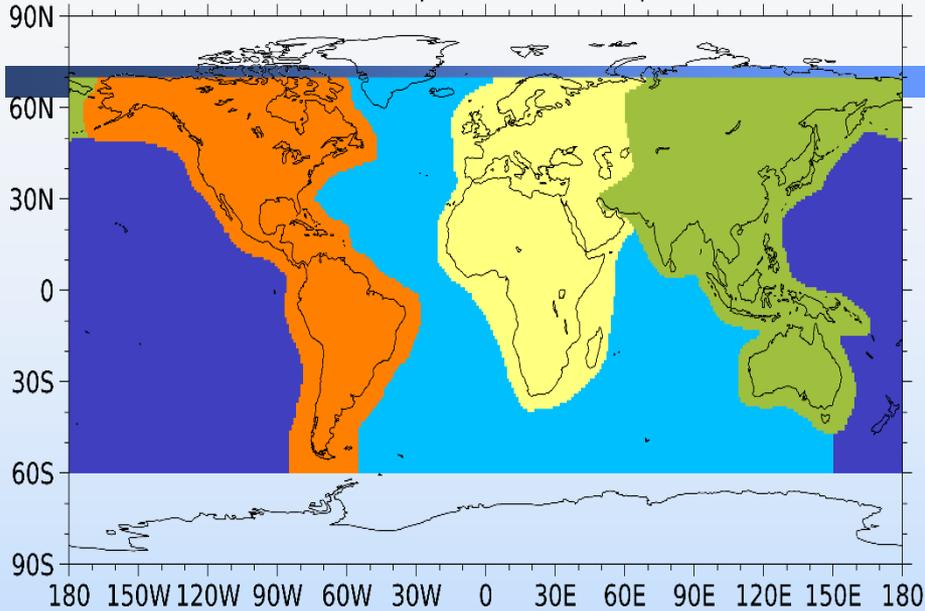
- Средние вклады суши и океана в ГЭЦ откликаются на цикл ЭНЮК противоположным образом
- Вклад океана несколько более чувствителен к ЭНЮК по абсолютной величине, нежели



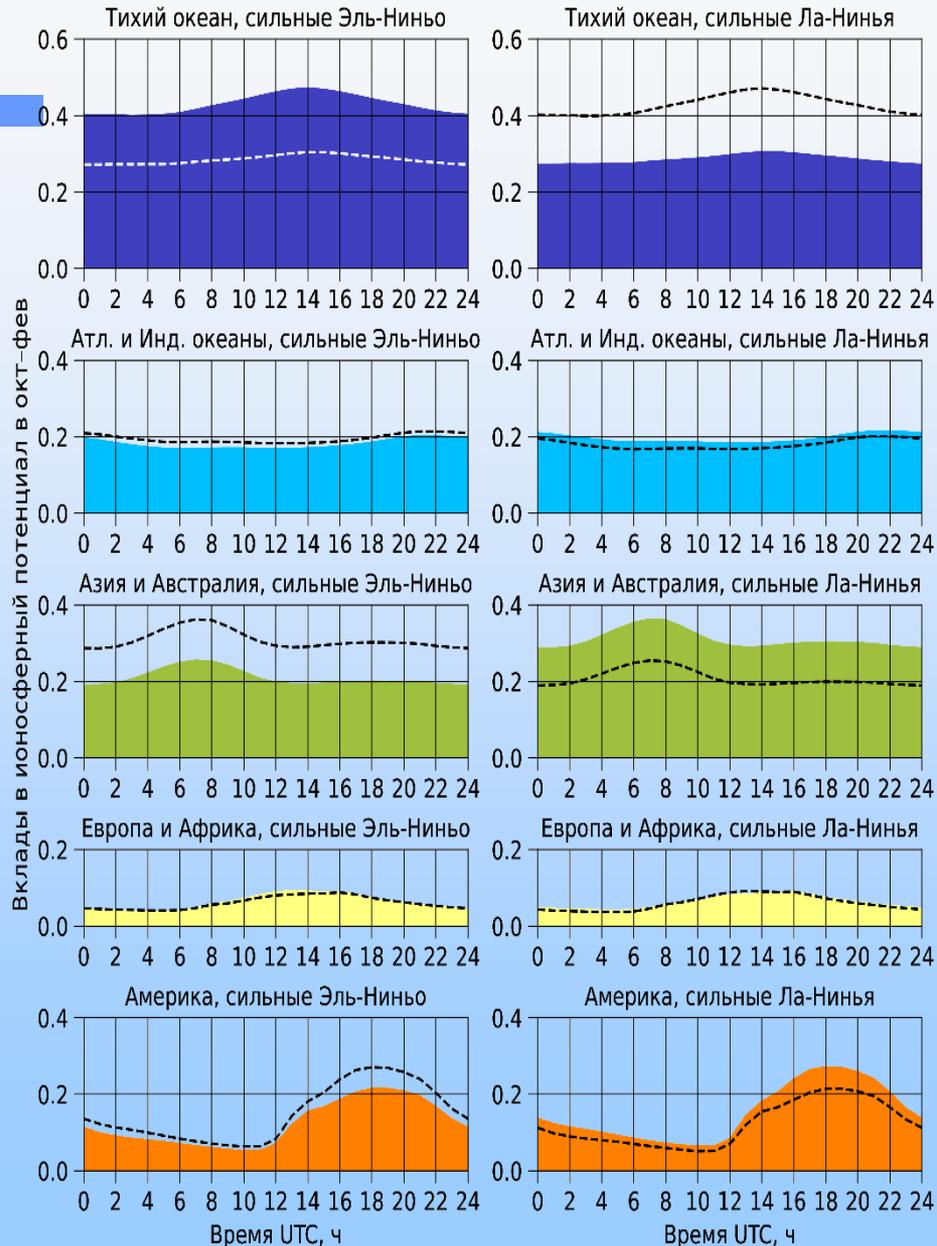
Вклад суши и океана в ГЭЦ откликаются на цикл ЭНЮК противоположным образом. Вклад океана несколько более чувствителен к ЭНЮК по абсолютной величине, нежели вклад суши. Полный ионосферный потенциал менее чувствителен к ЭНЮК, чем вклады суши и океана; два эффекта противоположных знаков компенсируют друг друга.

Региональные вклады в ГЭЦ во время событий ЭНЮК

Разбиение поверхности Земли на регионы

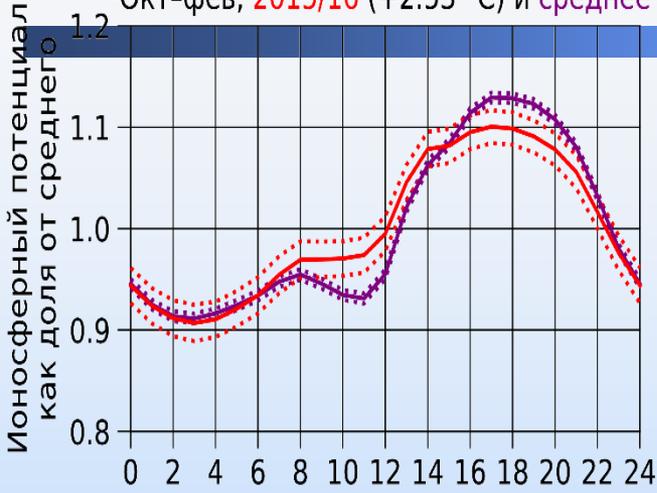


- Изменение глобальных паттернов конвекции во время Эль-Ниньо и Ла-Нинья приводит к изменению распределения региональных вкладов в ГЭЦ
- Во время Эль-Ниньо становится больше облаков с развитой электрической структурой над Тихим океаном и меньше над Южной Америкой и Юго-Восточной Азией

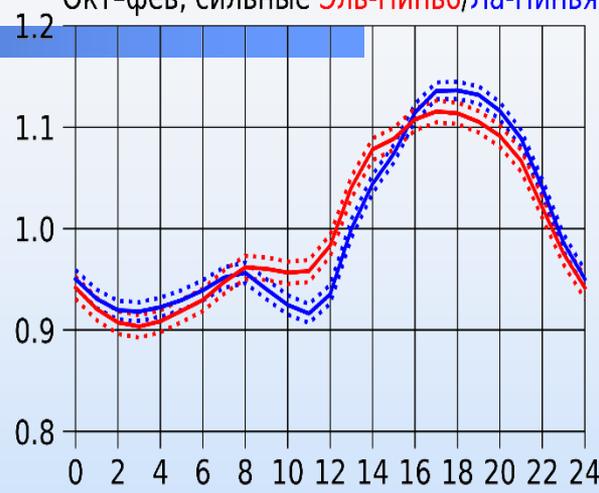


Сравнение с измерениями в Антарктиде

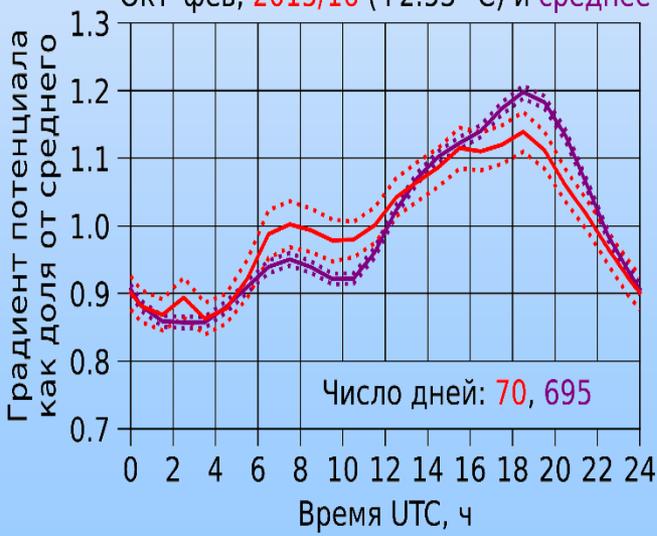
Моделирование с помощью WRF
Окт-фев, 2015/16 (+2.53 °C) и среднее



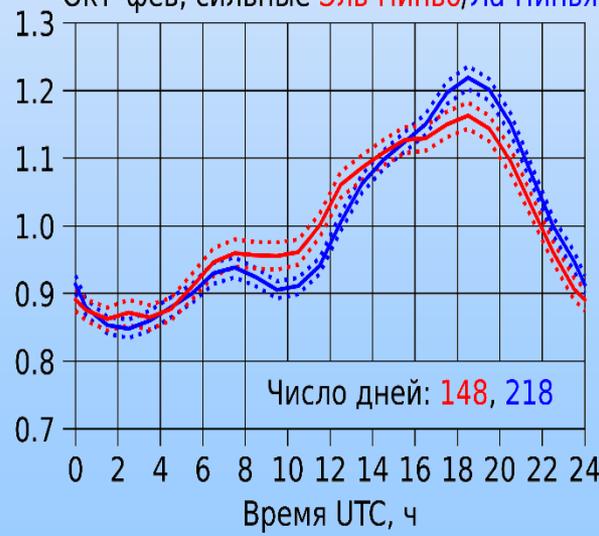
Моделирование с помощью WRF
Окт-фев, сильные Эль-Ниньо/Ла-Нинья



Станция «Восток», Антарктида
Окт-фев, 2015/16 (+2.53 °C) и среднее



Станция «Восток», Антарктида
Окт-фев, сильные Эль-Ниньо/Ла-Нинья



- Измерения электрического поля на станции «Восток» в Антарктиде (2006–2016) подтверждают предсказанный в моделировании эффект воздействия ЭНЮК на ГЭЦ
- Результаты измерений электрического поля далеко от экватора (в отсутствие непосредственного воздействия Эль-Ниньо и Ла-Нинья)

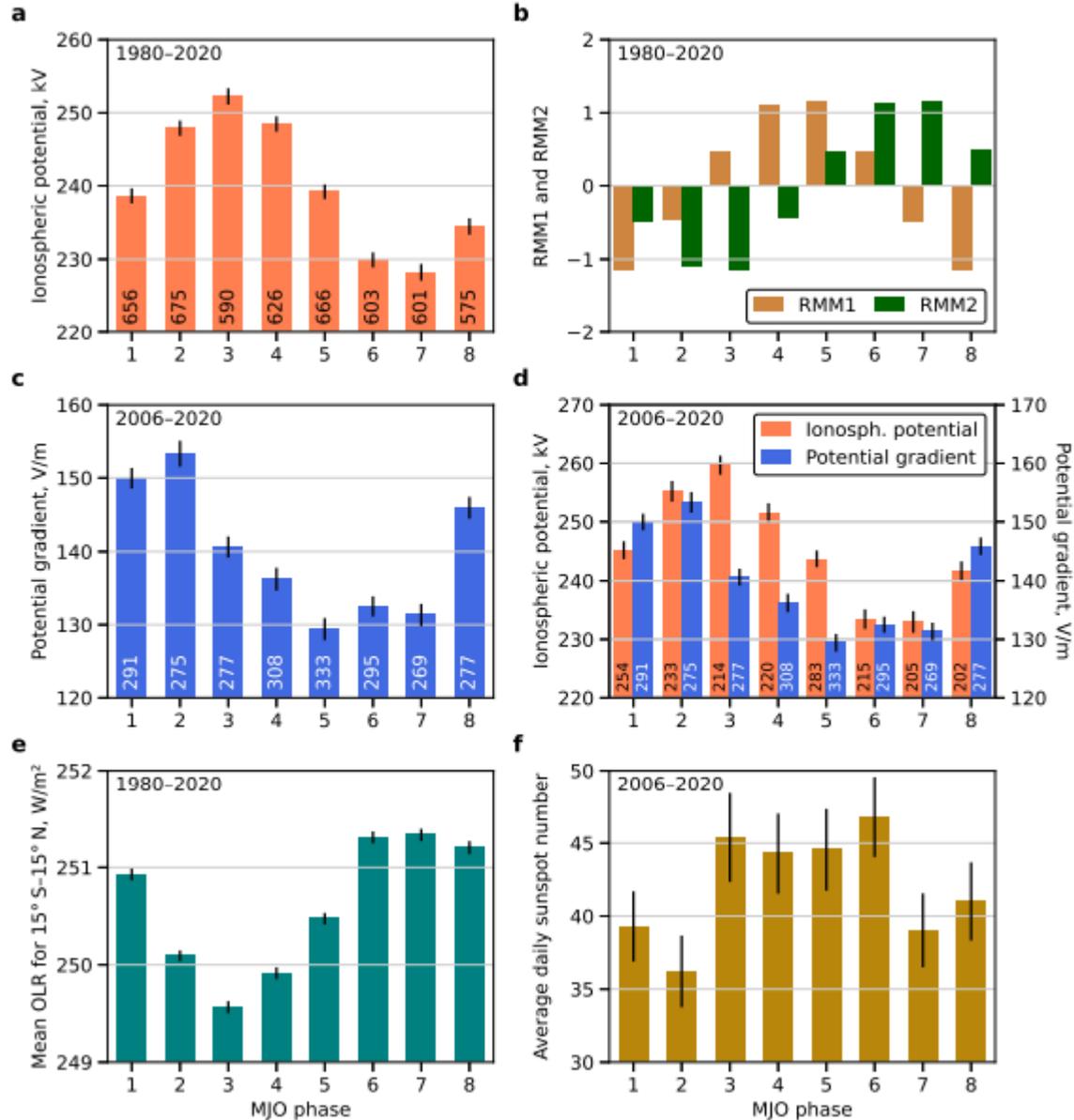
Связь климата и

электромагнитного окружения Земли

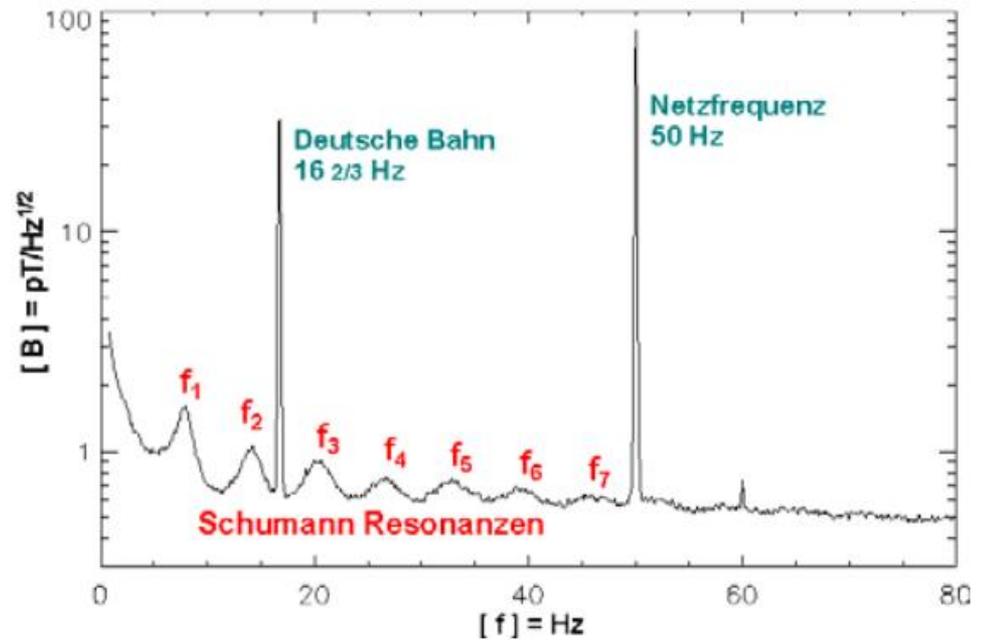
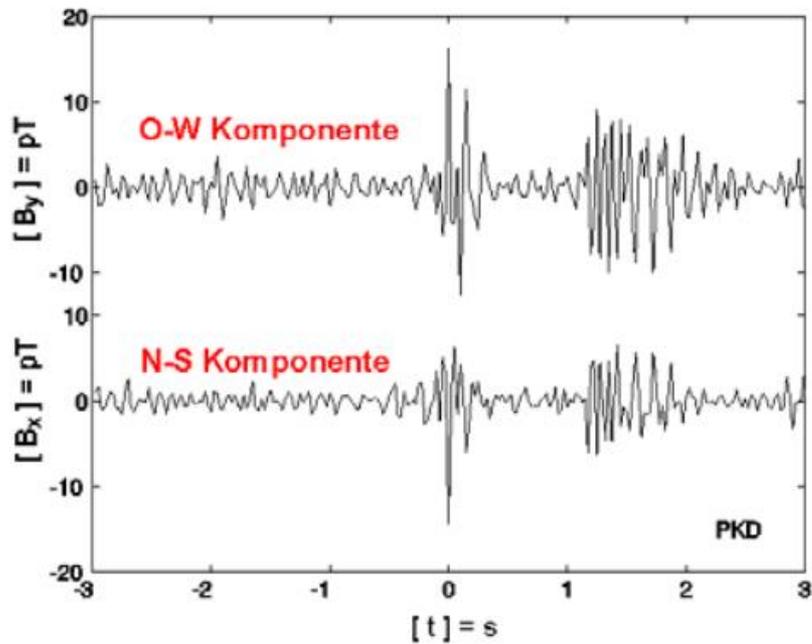
- Впервые теоретически предсказана и экспериментально подтверждена статистически значимая связь между глобальной электрической цепью (ГЭЦ) и климатической модой Эль-Ниньо – Южное Колебание (ЭНЮК)
- С помощью моделирования, основанного на использовании модели прогноза погоды WRF, данных реанализа и параметризации ионосферного потенциала, показано, что сильные события Эль-Ниньо и Ла-Нинья влияют на глобальное распределение электрически активных облаков, что приводит к изменению формы кривой суточной вариации ионосферного потенциала и других параметров ГЭЦ [1]
- Описаны механизмы влияния моды ЭНЮК на суточную вариацию ГЭЦ, в частности показана важная роль электрически активных облаков над океанами, вклад которых прежде недооценивался из-за меньшей молниевой активности; подробно изучено влияние моды ЭНЮК на региональные вклады в ионосферный потенциал [2]
- Получено первое экспериментальное подтверждение связи ГЭЦ и климатической моды ЭНЮК на основе анализа данных многолетних измерений атмосферного электрического поля на антарктической станции «Восток» в 2006–2016 годах; паттерны ЭНЮК, предсказанные моделью, статистически значимо различимы в экспериментальных данных [3]

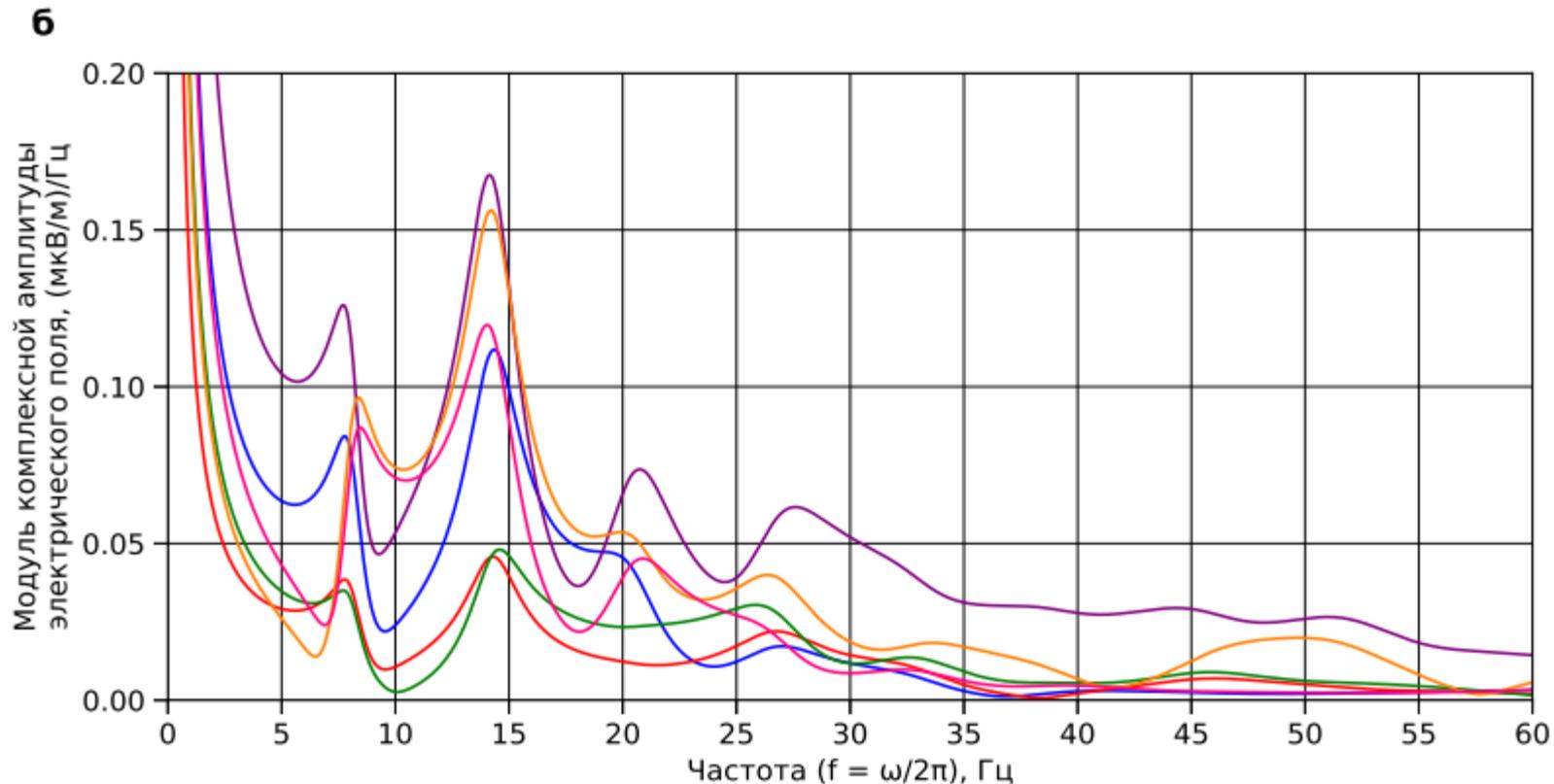
Авторы: Н.Н. Слюняев, Н.В. Ильин, Ф.Г. Сарафанов,
М.В. Шестаков, Е.А. Морозов (ИФФ РАН)

КОЛЕБАНИЕ МАДДЕНА-ДЖУЛИАНА



РЕЗОНАНСЫ ШУМАНА. ПРИМЕР РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ



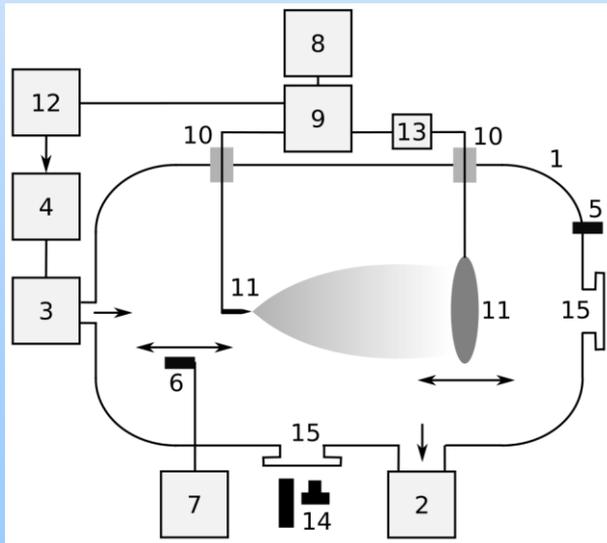
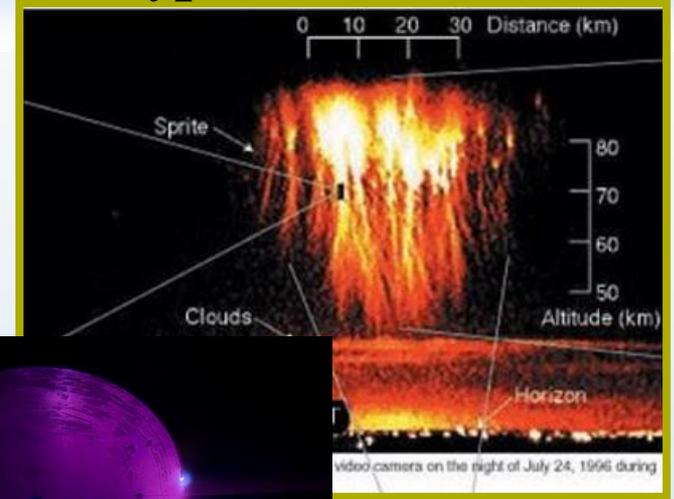


Результаты расчёта модуля комплексной амплитуды радиальной компоненты электрического поля с учётом проводимости (44) при распределении источников по земной поверхности согласно данным сети WWLLN за 2016 год: (а) расчёт для точки $r = R_E$, $\vartheta = 0$ (полюс); (б) расчёт для шести различных точек при $r = R_E$, а именно: $\vartheta = 0$ (полюс, синяя кривая), $\vartheta = \pi/2$, $\varphi = 0$ (точка на экваторе, красная кривая), $\vartheta = \pi/2$, $\varphi = \pi/2$ (точка на экваторе, фиолетовая кривая), $\vartheta = \pi/2$, $\varphi = \pi$ (точка на экваторе, зелёная кривая), $\vartheta = \pi/2$, $\varphi = 3\pi/2$ (точка на экваторе, оранжевая кривая), $\vartheta = \pi$ (полюс, розовая кривая). Величина амплитуды поля отнормирована на 1000 одновременно действующих источников.

Натурные наблюдения



Стенд «СПРАЙТ»

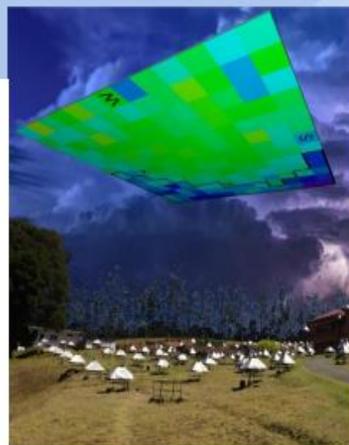
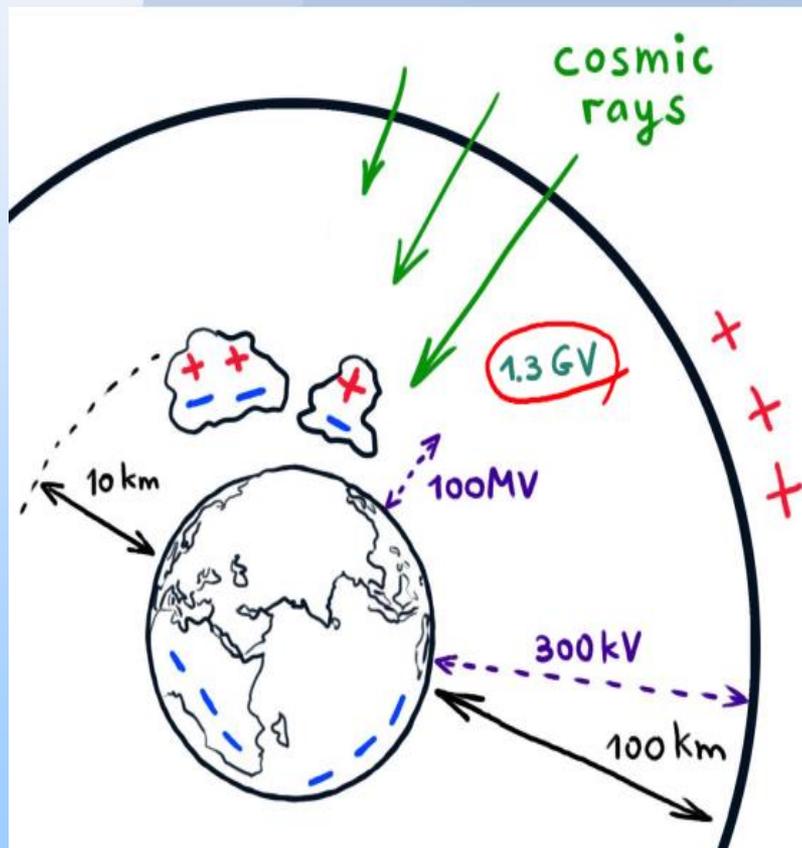


Лабораторный эксперимент

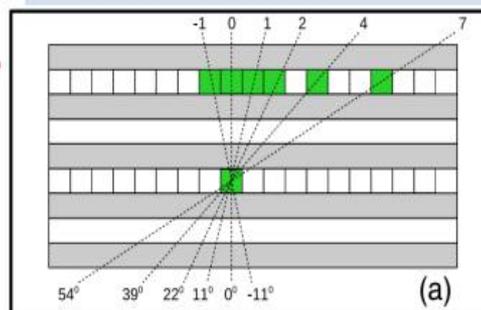
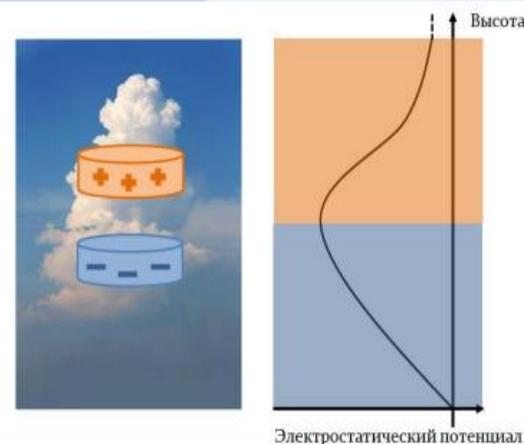
Исследование возможности диагностики структуры облака по измерениям потока мюонов

Грозовое электричество в контексте глобальной электрической цепи:

GRAPES-3 Experiment
(Ooty, India)



<https://grapes-3.tifr.res.in/>



Measurement of the Electrical Properties of a Thundercloud Through Muon Imaging by the GRAPES-3 Experiment

B. Harsharan, A. Chandra, S.R. Duggad, S.K. Gupta, P. Jagadeeshan, A. Jain, P.K. Mohanty, S.D. Morris, P.K. Nayak, P.S. Rakesh, K. Ramesh, B.S. Rao, L.V. Reddy, M. Zubeni, Y. Hayashi, S. Kawakami, S. Ahmad, H. Kojima, A. Oshima, S. Shibata, Y. Muraki, and K. Tanaka (GRAPES-3 Collaborators)
Phys. Rev Lett. **122**, 105101 – Published 15 March 2019

A. Chilingarian, G. Hovsepyan, E. Svechnikova, and E. Mareev, "Comment on «Measurement of the electrical properties of a thundercloud through muon imaging by the GRAPES-3 experiment»", *Physical Review Letters*, vol. 124, 01 2020

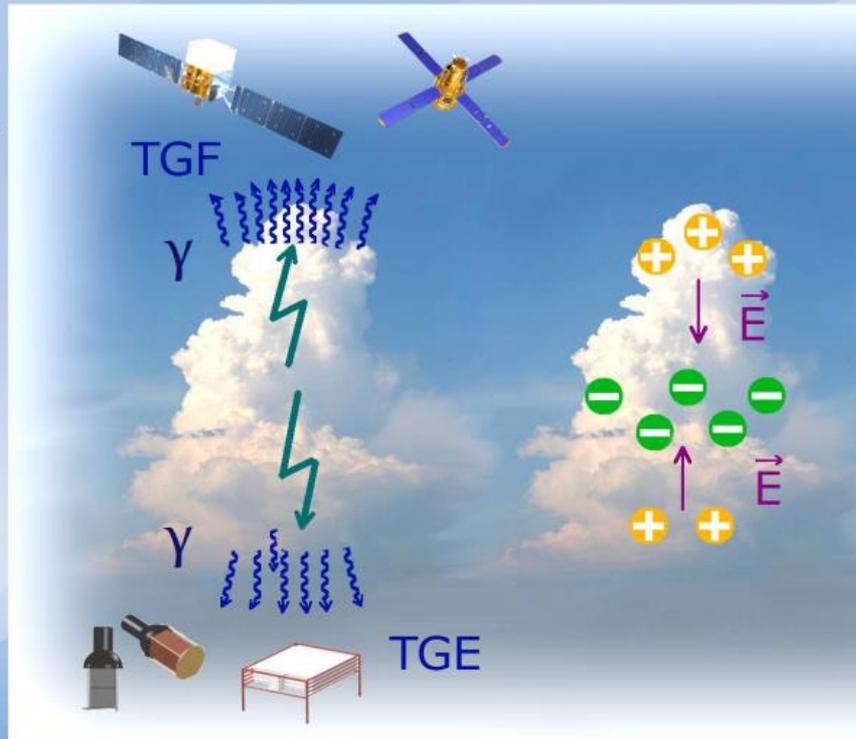
Высокоэнергичные события

Актуальность

Наблюдения и модели:

G.J. Fishman et al., *Science*, 1994
J.R. Dwyer et al., *Space Sci Rev*, 2012
N. Østgaard et al., *J Geophys Res Atmos*, 2019

A. Chilingarian et al., *Phys. Rev. D*, 2010
H. Tsuchiya et al., *J. Geophys. Res.*, 2011
A. Chilingarian et al., *Phys. Rev. D*, 2019



Условия возникновения:

Splitt M. et al., 2010, *JGR Atm.* 115(A6), DOI: 10.1029/2009JA014622
Smith D. et al., 2010, *JGR Atm.* 115, DOI: 10.1029/2009JA014853
Barnes D. et al., 2015, *JGR Atm.* 120, DOI: 10.1002/2014JD21495
Chronis T. et al., 2016, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 639, DOI: 10.1175/BAMS-D-14-00239.1
Tiberia A. et al., 2019, *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, DOI: 10.1007/s12210-019-00775-y

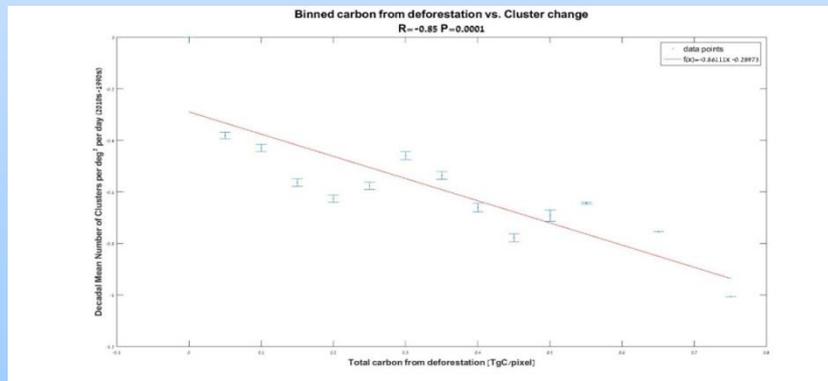
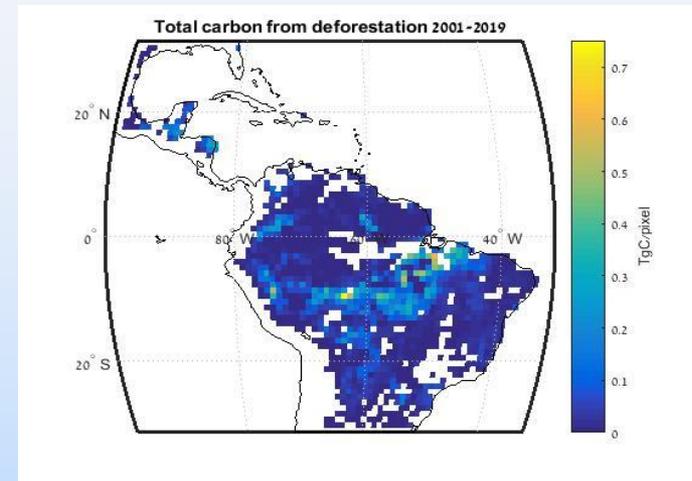
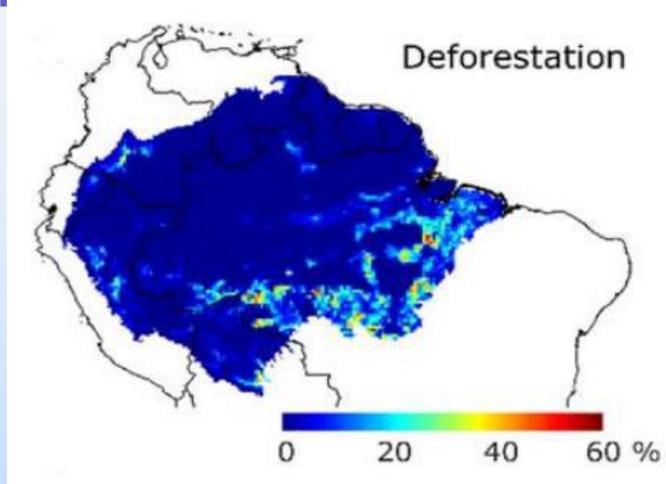
Искомое:

- Условия возникновения
- Механизм развития

Физика климата

- Изучение обратных связей в климатической системе с помощью простых моделей и моделей высокого разрешения
 - Изучение «быстрых» изменений климата
 - Изучение экстремальных явлений в условиях изменяющегося климата
 - Изучение пограничного слоя атмосферы
- Программа исследований экологии и климата в России

Сокращение площади лесов Амазонии приводит к уменьшению количества грозов в Южной Америке?



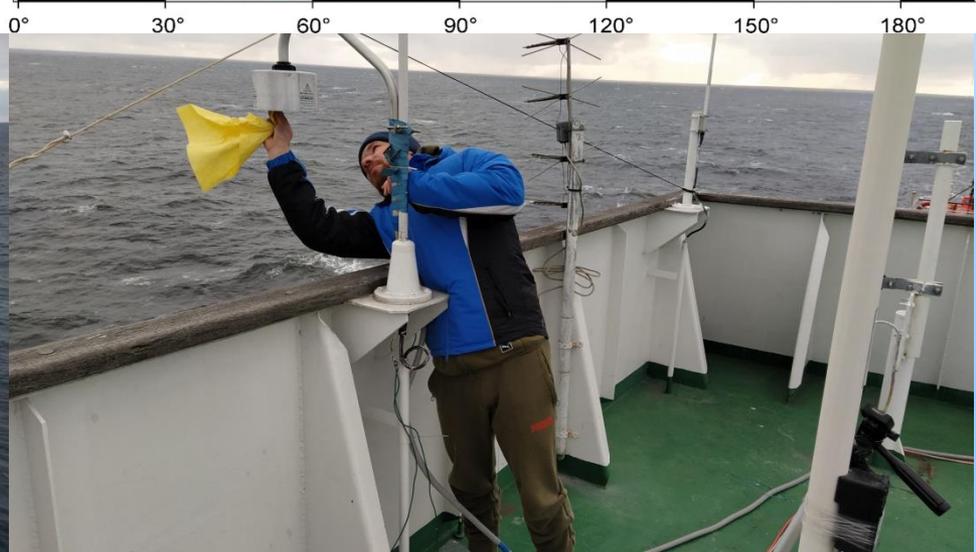
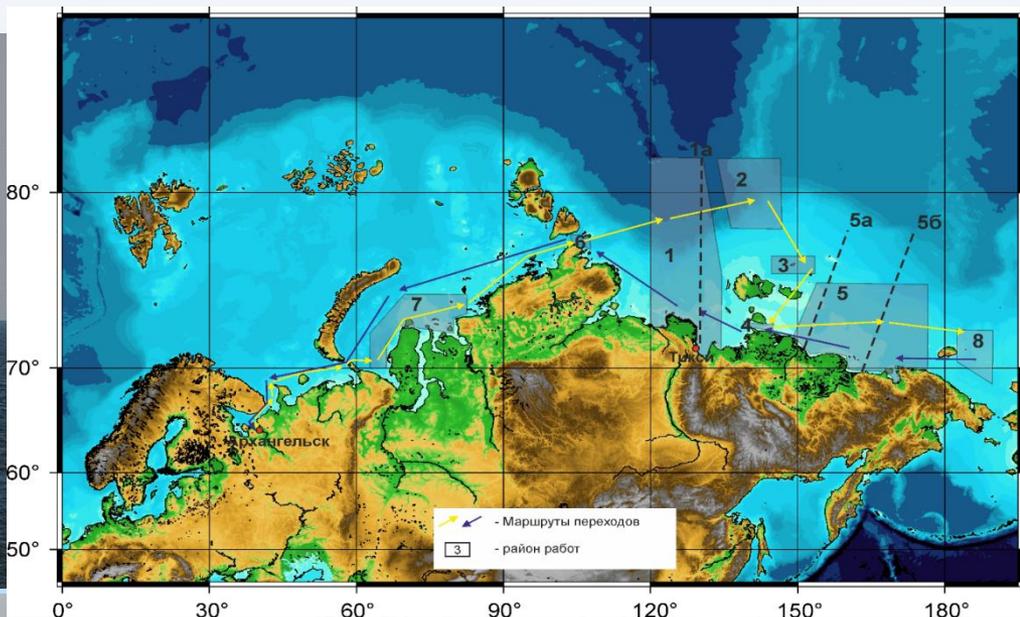
Colin Price; Raam Bekenshtein; Evgeny Mareev Is Amazon deforestation decreasing the number of thunderstorms over South America? // Monthly Weather Review (accepted).

Is Amazon deforestation decreasing the number of thunderstorms over South America?

Lightning activity is predicted to increase with global warming, though estimates of lightning sensitivity to a change of temperature vary widely. This paper uses large-scale meteorological parameters tied to thunderstorm generation to improve existing empirical models that simulate regional thunderstorm behavior. This study focuses on South America, and uses the ERA5 higher resolution reanalysis data (ERA5) to develop our empirical model. Thunderstorm data was taken from the World Wide Lightning Location Network (WWLLN) and processed using the clustering algorithm developed by Mezuman et al. (2014). The two meteorological parameters that correlated best with thunderstorm clusters in South America were specific humidity (SH or q) and convective available potential energy (CAPE). The resulting empirical model was run from 1979–2019 using ERA5 reanalysis data as input. To our surprise, South American thunderstorms exhibited a negative trend over this period, with a $\sim 8\%$ decrease in thunderstorm clusters since the 1980s even with a rise of 1K in temperature over the same period. The regions of largest decreases in thunderstorm activity align well with estimates of deforestation. **We estimate that for every 1 Tg C lost due to deforestation, there is a 10% decrease in thunderstorm number.**

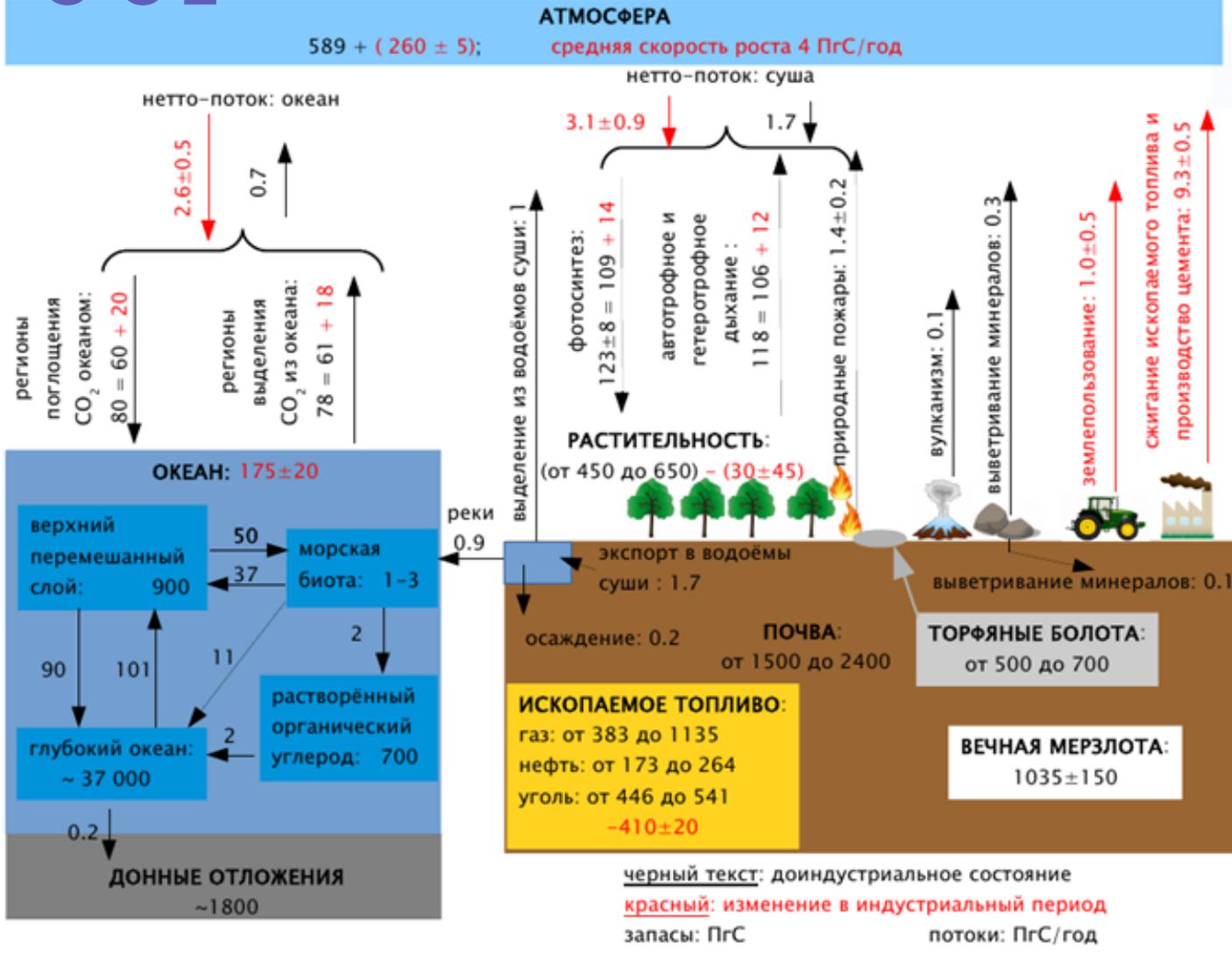
Арктика

НИС «Академик Мстислав Келдыш» 2020



Глобальный цикл CO₂

Поток углерода между атмосферой и наземными экосистемами:



$$F_l = F_p - F_v - F_s - F_f$$

Поток углекислого газа на единицу площади из атмосферы в океан описывается законом Генри:

$$k_{CO_2} \alpha (pCO_{2,a} - pCO_{2,o})$$

k_{CO_2} - коэффициент обмена,
 α - растворимость CO₂ в морской воде,
 $pCO_{2,o}$ и $pCO_{2,a}$ - парциальное давление CO₂ в воде и в воздухе

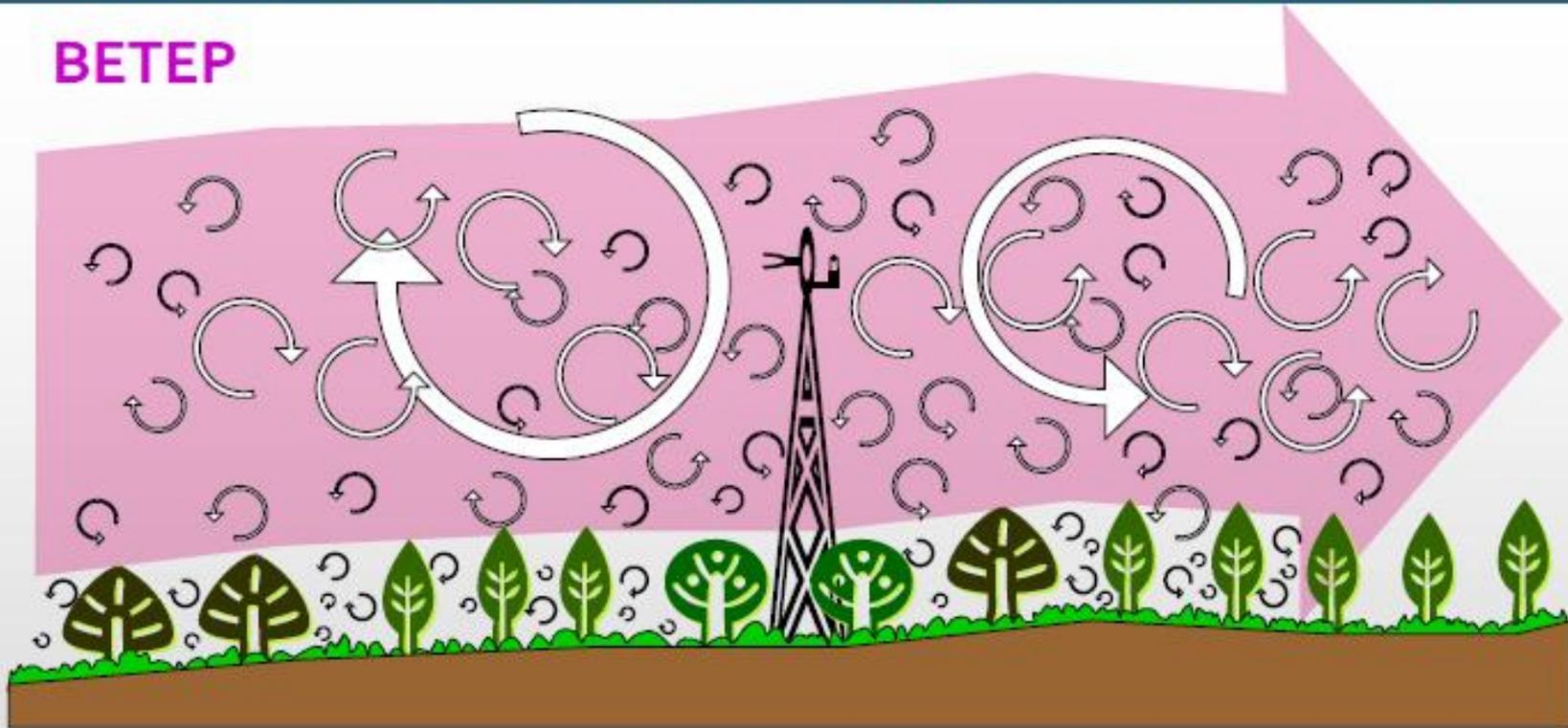
Изменение запаса CO₂ в атмосфере:

$$dC_a / dt = E - F_l - F_o$$

где E - внешние эмиссии CO₂ в атмосферу

ДВИЖЕНИЕ ВОЗДУХА НАД ЭКОСИСТЕМОЙ

ВЕТЕР

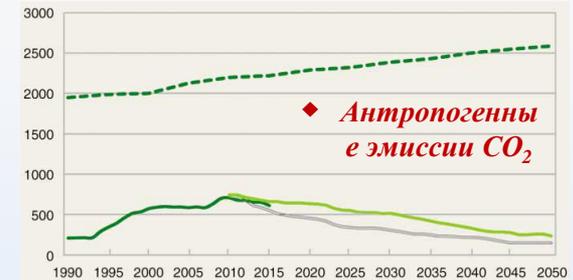


- Воздушный поток может быть представлен как горизонтальный перенос многочисленных вихрей
- Скорость ветра в каждом вихре описывается в трехмерной системе координат и имеет вертикальную составляющую
- Компоненты скорости ветра могут быть измерены приборами, установленными над пологом растительности на вышке

Парниковых газов (ПГ), создание “карбонового портрета” региона и

Мотивация

- Мониторинг реализации Парижского соглашения
- Защита интересов РФ ввиду введения ЕС углеродного налога
- Необходимость верификации результатов реализации ФЗ “Об ограничении выбросов парниковых газов”
- Модельные расчеты экосистемных потоков ПГ на основе данных спутниковых и наземных измерений



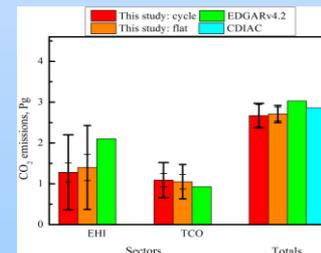
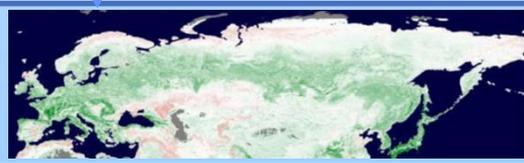
Поглощение CO_2 (млн т CO_2 /год) лесами в России

- Оценка эмиссий ПГ от сгорания ископаемого топлива и природных пожаров по данным измер

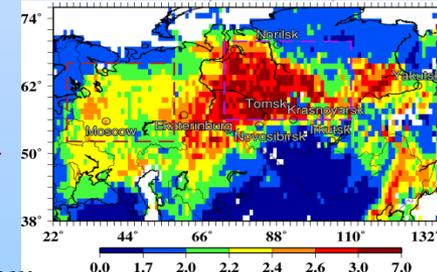


Оптимизация параметров модели

Расчеты экосистемных потоков углерода на базе 3х- мерной модели атмосферы



Сопоставление данных инвентаризаций для ЕС с оценками на основе обратного моделирования



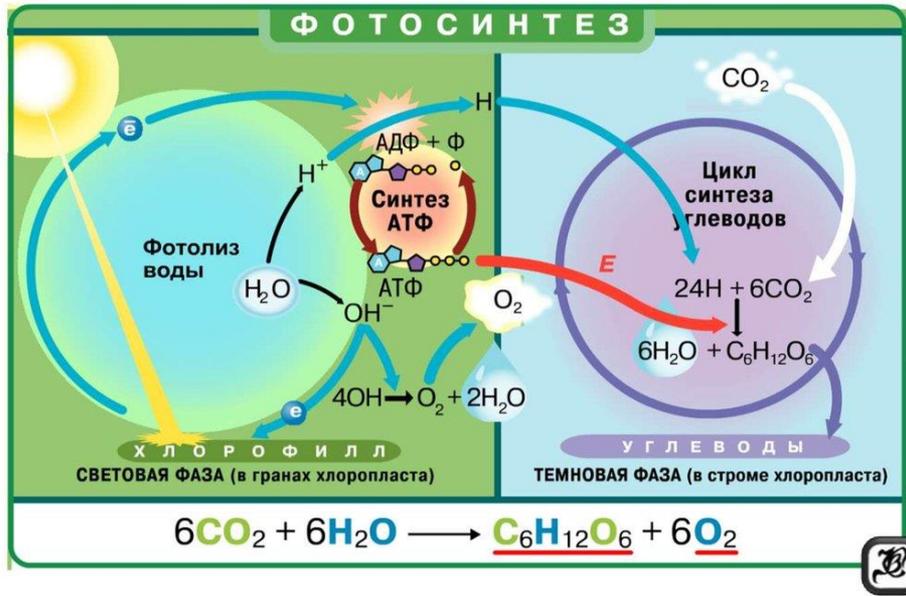
Расчеты содержания CO_2 над Россией в период пожаров 2016 г.

- Получение совокупности согласованных с измерениями оценок основных источников и стоков CO_2 (создание «карбоновых портретов») для Нижегородской области и России

Исследование фотосинтеза

Влияние электромагнитного окружения Земли на фотосинтез

Этапы фотосинтеза



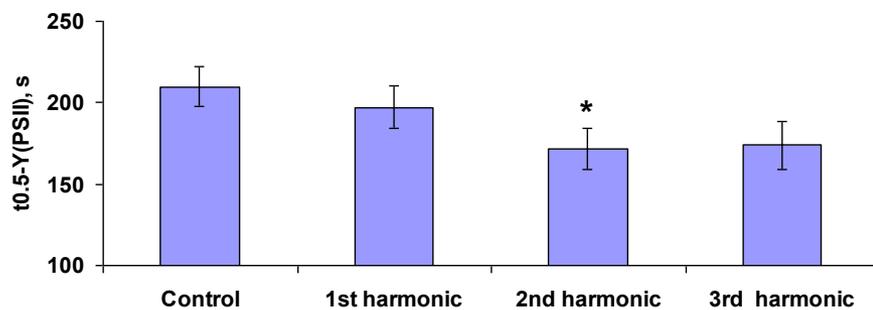
Длительное воздействие (20 дней)



Кратковременное (1 час)



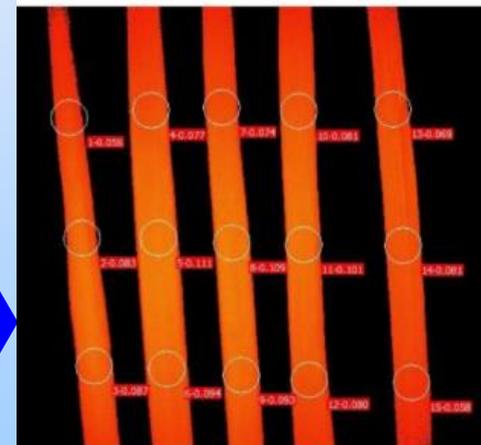
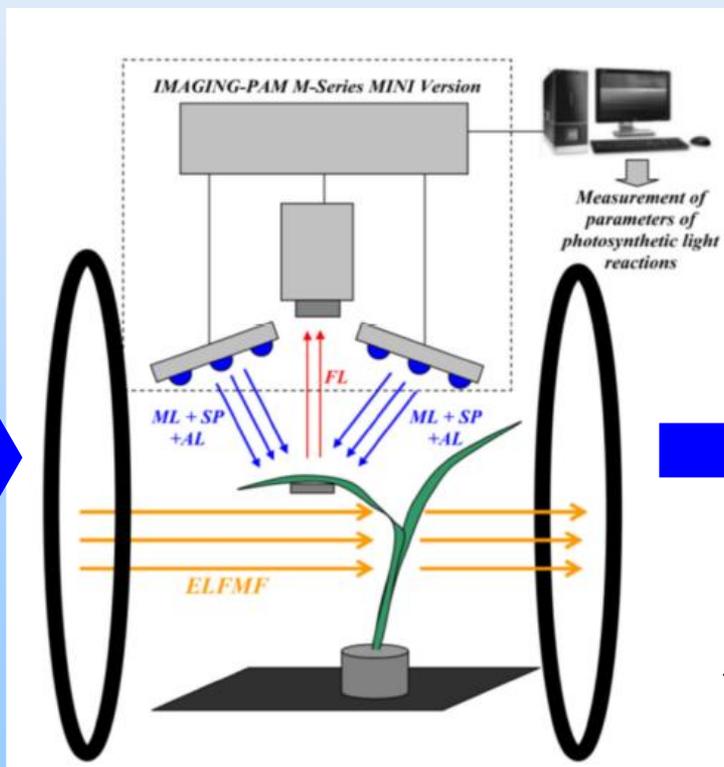
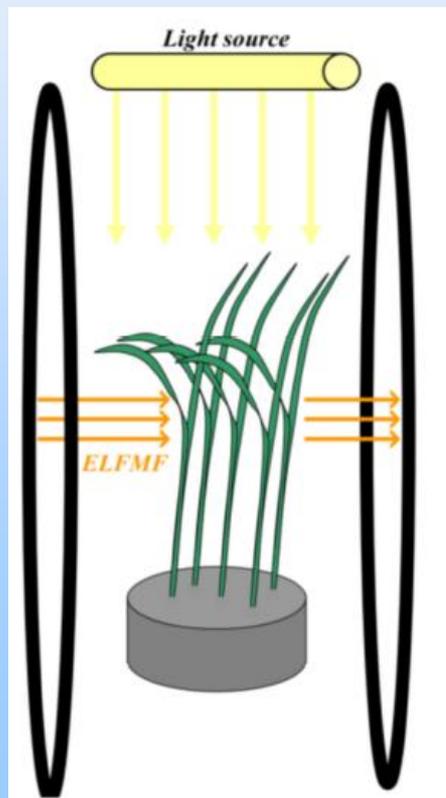
Light-induced activation of photosystem II



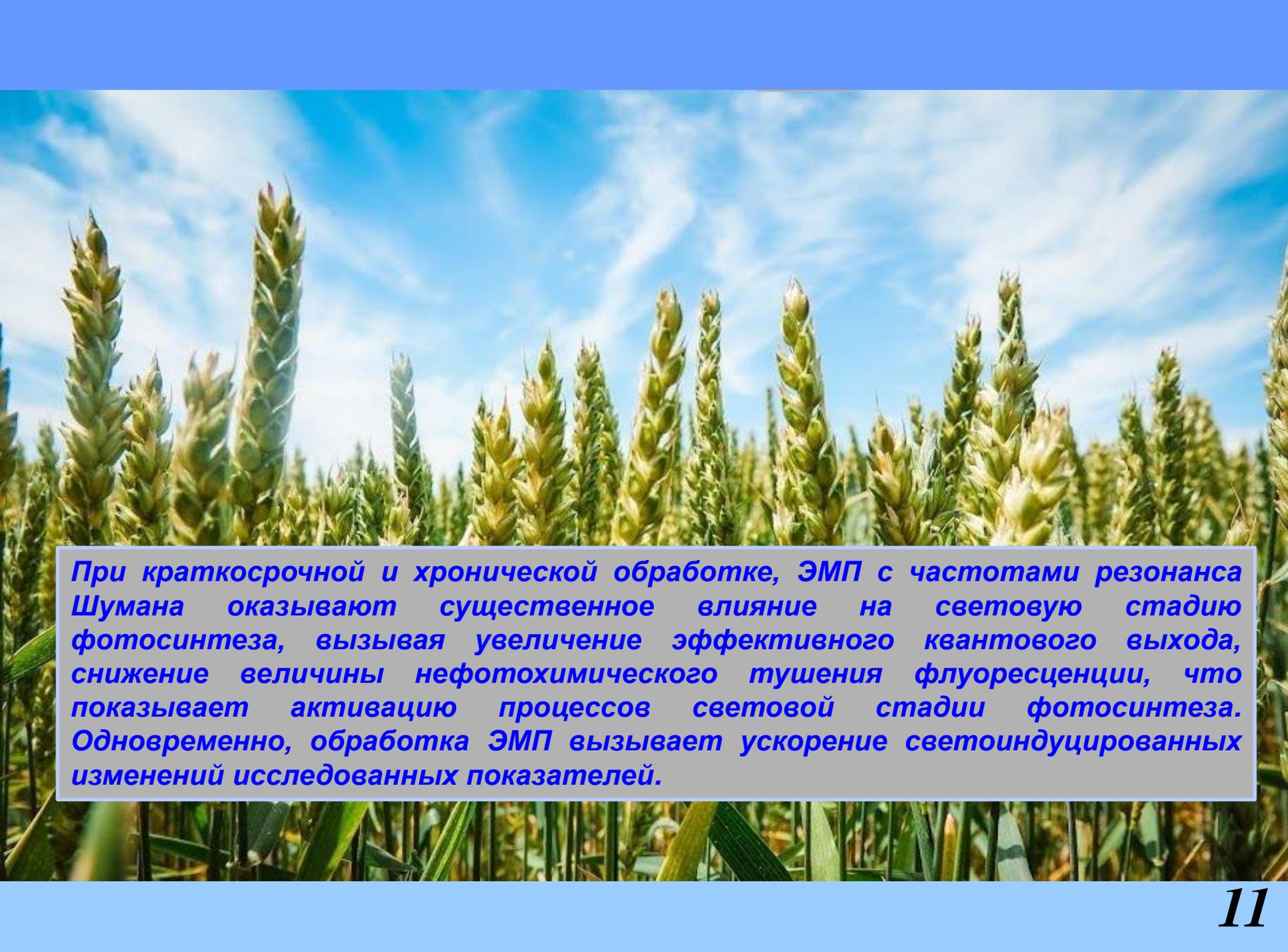
Анализ кратковременного и хронического воздействия ЭМП с частотами резонанса Шумана (7.8, 14.3 и 20.8 Гц) на световую стадию фотосинтеза высших растений.

Хроническое воздействие (3 дня проращивания + 9 дней культивирования)

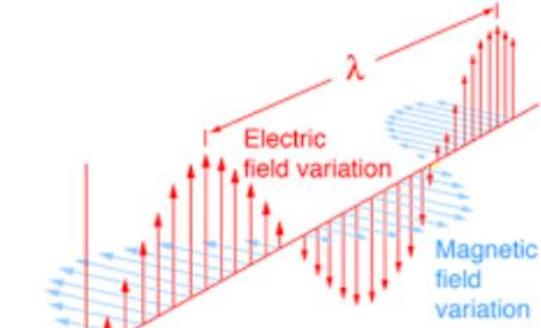
Кратковременное воздействие (30 мин)



PAM-Imaging (измерение флуоресценции хлорофилла)



При краткосрочной и хронической обработке, ЭМП с частотами резонанса Шумана оказывают существенное влияние на световую стадию фотосинтеза, вызывая увеличение эффективного квантового выхода, снижение величины нефотохимического тушения флуоресценции, что показывает активацию процессов световой стадии фотосинтеза. Одновременно, обработка ЭМП вызывает ускорение светоиндуцированных изменений исследованных показателей.

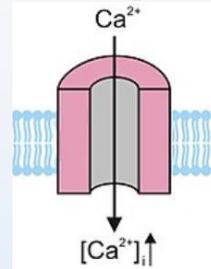


Extremely low frequency electromagnetic fields

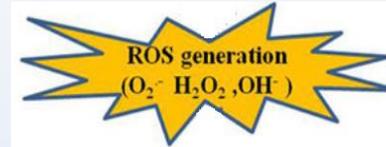


Potential primary targets of EMFs in plants

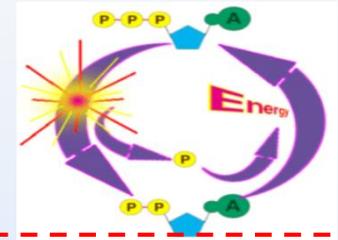
Changes in Ca²⁺ transport



Changes in ROS production



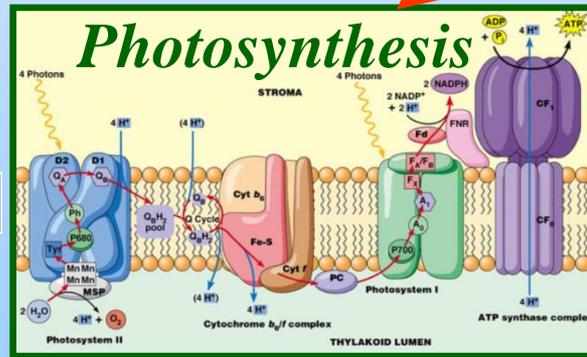
Changes in activity of electron transport chains



*Reactive oxygen species (ROS):
H₂O₂, ·O₂⁻, ¹O₂, ·OH*

*Ca²⁺ signaling Electrical signaling
ROS signaling Phytohormones*

Changes in productivity



Changes in stress tolerance



Hypothetical ways of influence of extremely low frequency EMFs on productivity and stress tolerance of plants.

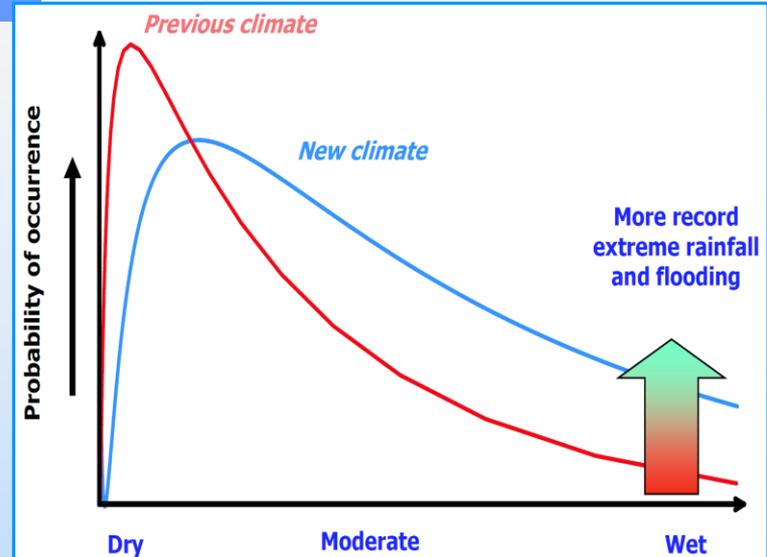
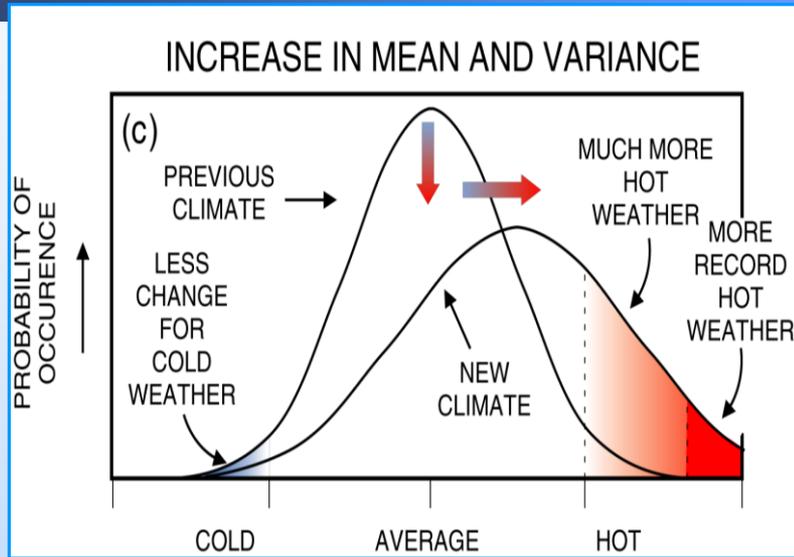
блоки. В электрическом блоке должны
на пути к новому поколению моделей
вспышки, сторонние токи глобальной
цепи, глобальные электромагнитные
резонансы (АС-цепь). В

биогеохимическом блоке должны быть
учтены источники и стоки парниковых
газов для экосистем суши и океана.
Аэрозольный блок должен учитывать
антропогенные и естественные
источники аэрозольных частиц и их
роль как ядер конденсации и ядер
льдообразования в облаках. Такая
модель даст возможность впервые в
мире единым образом учитывать
эффекты земной и космической погоды,
а также давать прогноз различных
сценариев динамики системы
биосфера – глобальная электрическая
цепь с учетом обратных связей в этой
системе.

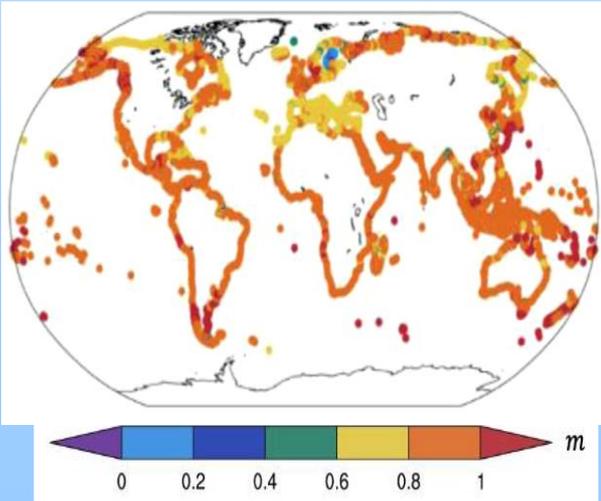
интерактивные
электрический,
биотехимический и
аэрозольный блоки

глобальные электромагнитные резонансы (АС цепь). В биогерхимическом блоке должны быть учтены источники и стоки парниковых газов для экосистем суши и океана. Аэрозольный блок должен учитывать антропогенные и естественные источники аэрозольных частиц и их роль как ядер конденсации и ядер льдообразования в облаках. Такая модель даст возможность впервые в мире единым образом учитывать эффекты земной и космической погоды, а также давать прогноз различных сценариев динамики системы биосфера – глобальная электрическая цепь с учетом обратных связей в этой системе.

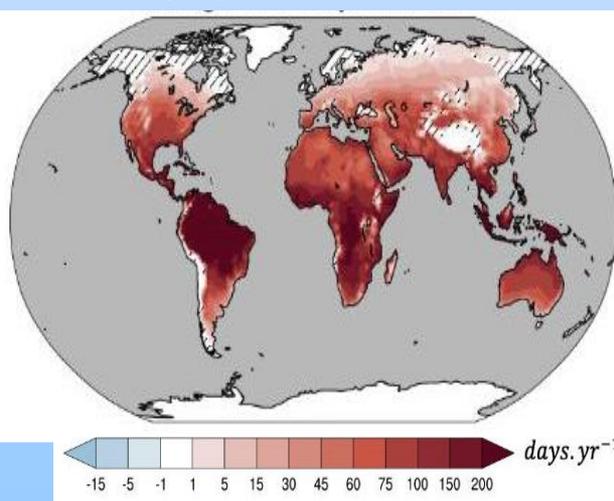
Intensifying climate extremes: projections for 2100



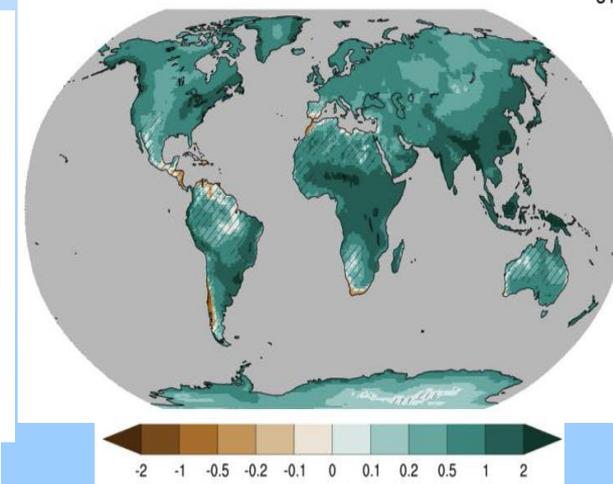
Coastal extreme water levels



of days with $T_{max} > 35^\circ$

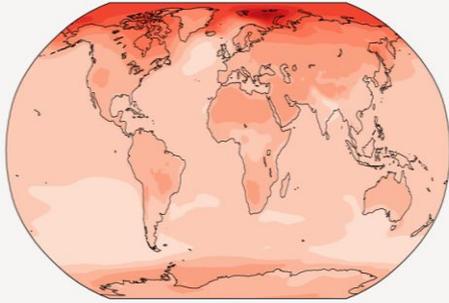


of days with $P > 95\%$

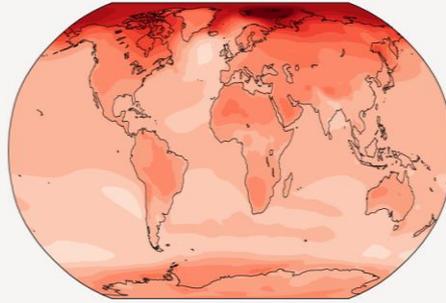


Global warming projections

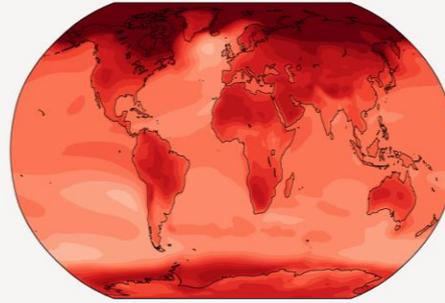
Simulated change at 1.5 °C global warming



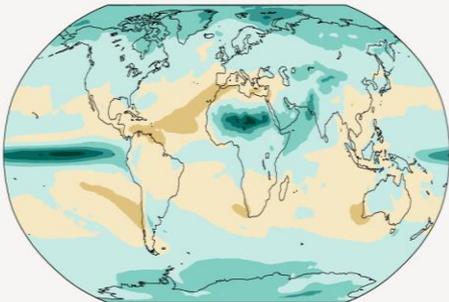
Simulated change at 2 °C global warming



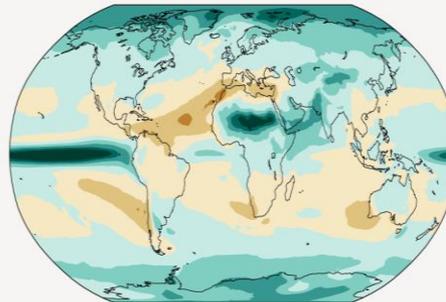
Simulated change at 4 °C global warming



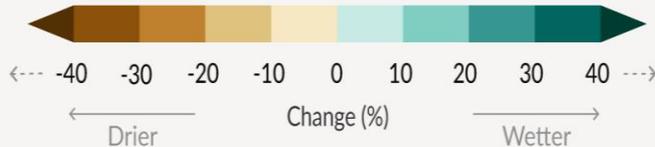
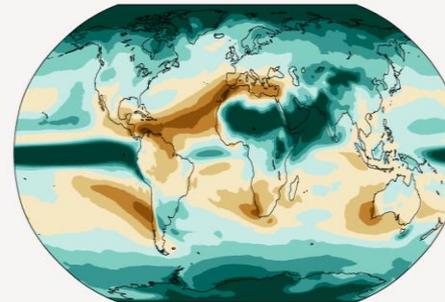
Simulated change at 1.5 °C global warming



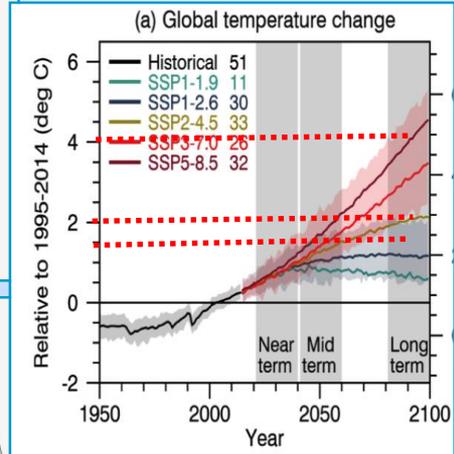
Simulated change at 2 °C global warming



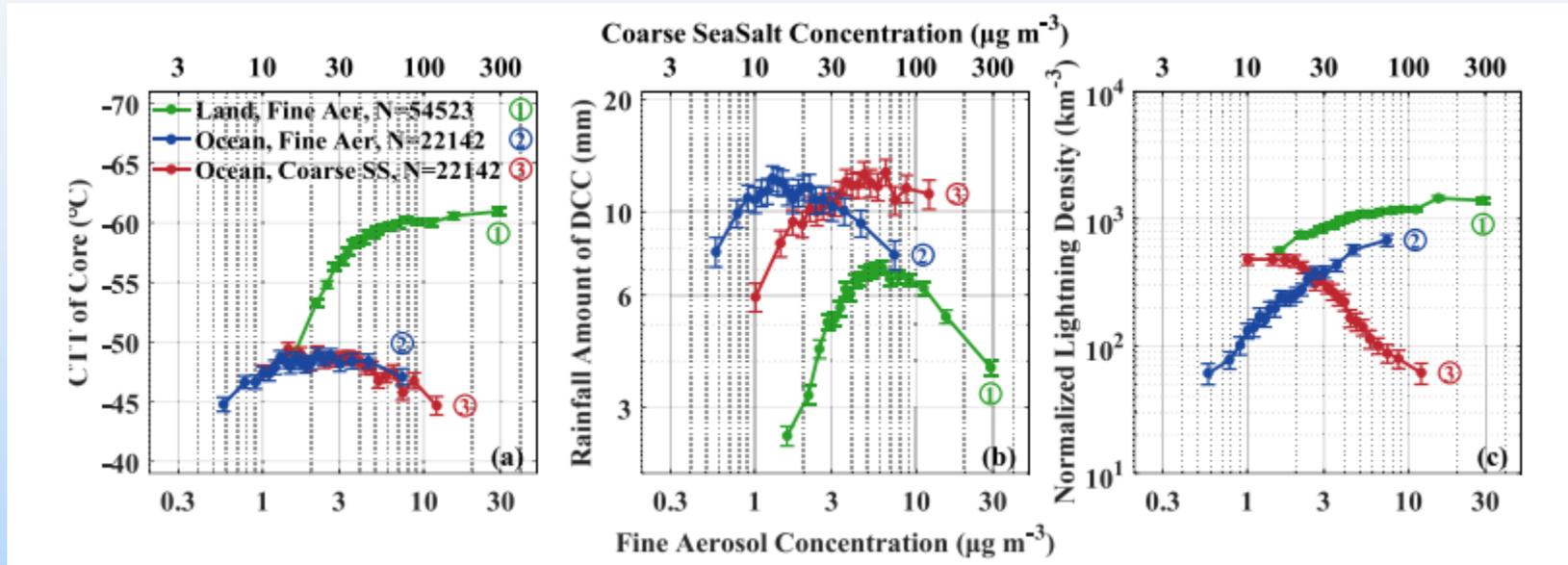
Simulated change at 4 °C global warming



Relatively small absolute changes may appear as large % changes in regions with dry baseline conditions



Coarse sea spray inhibits lightning? (Pan et al., Nature Com., 2022)



Relationships between aerosols and deep convective cloud (DCC) properties. The dependence of the cloud top temperatures (CTTs) of convective core (a), domain-averaged rainfall amount (i.e., rainfall depth) throughout DCC lifetime (b), and lightning flashes per km^3 of rainfall (c) are given as a function of fine aerosol mass concentrations (bottom abscissa scale) over land (green lines) and ocean (blue lines). The red lines give the dependence on coarse sea salt (CSS) aerosol mass concentrations over ocean (top abscissa scale). The I-type vertical bars indicate standard error. The aerosol bins are at intervals of 5% of the cases. The total number of data points for each line is shown in the legend.

LITHOSPHERE-ATMOSPHERE-IONOSPHERE COUPLING DUE TO SEISMICITY (LAICS)

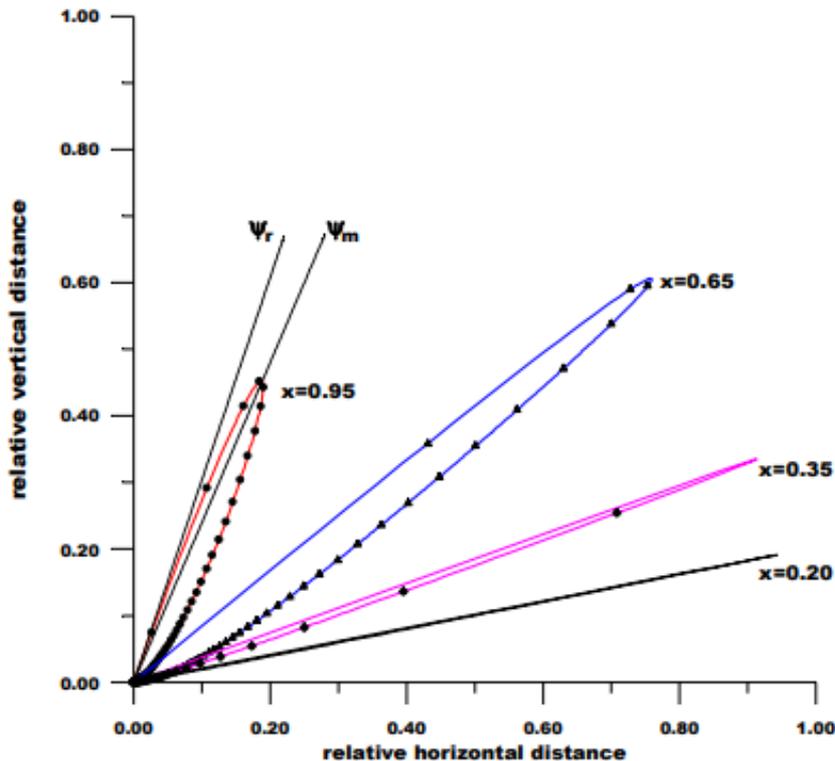


Fig. 7. Ray diagrams for different relative frequencies $x=\omega/N$. Meaning of resonant ray angle ψ_r and maximum radiation angle ψ_m are explained by dashed lines. All the ray values $p(x, \psi)$ are multiplied $x^3 = \cos^3 \psi_r$ for convenience of presentation (from Mareev et al., 2002).

Mareev, E. A., Iudin, D. I., and Molchanov, O. A.: Mosaic source of internal gravity waves associated with seismic activity, in Seismo-Electromagnetics (Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling), edited by Hayakawa, M. and Molchanov, O., TerraPub, 335-342, 2002.

Мониторинг квазистатических электрических полей в Нижнем

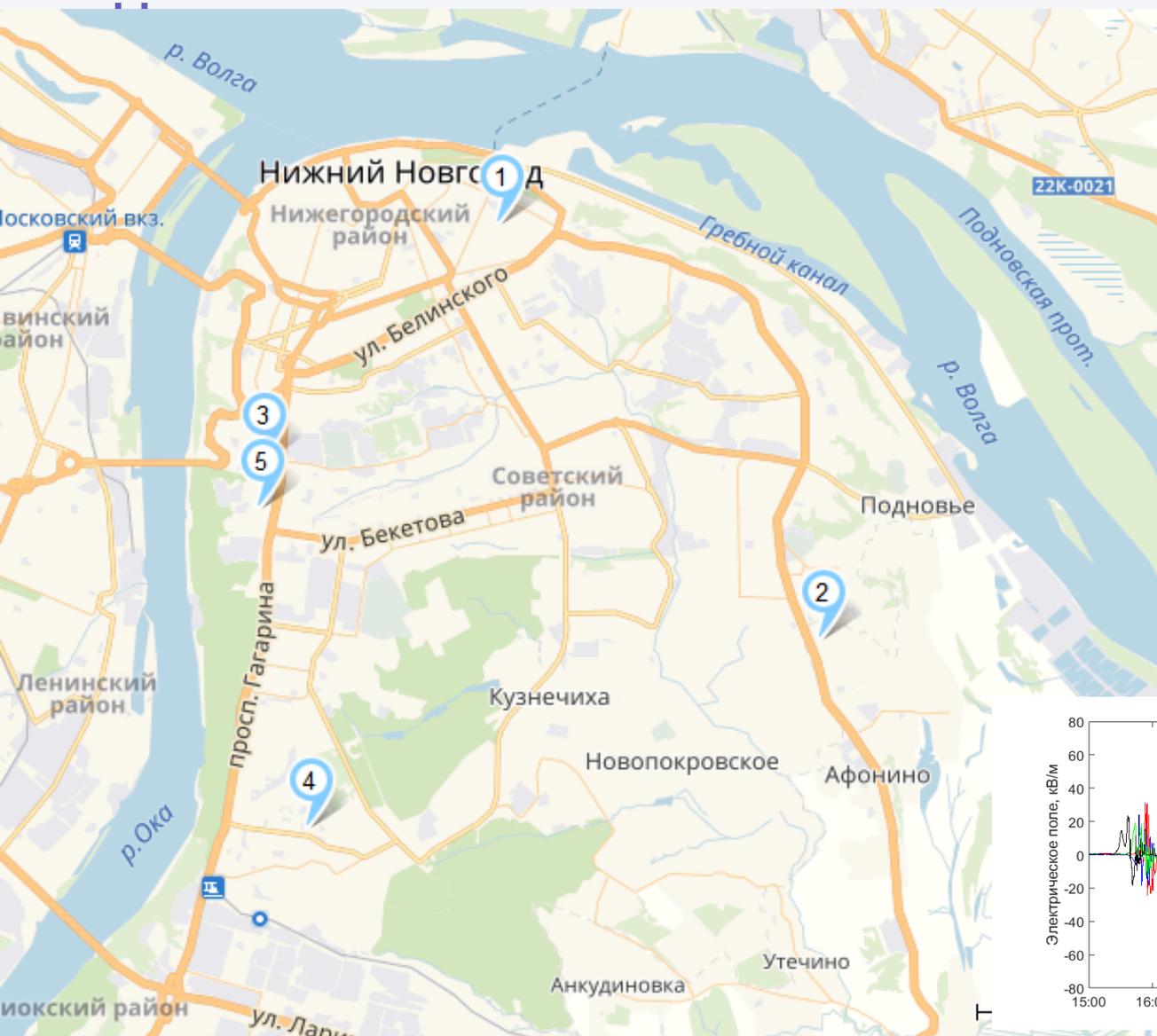
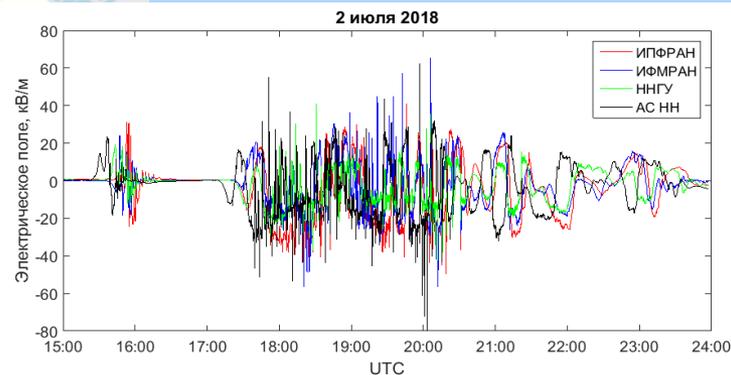


Схема расположения регистрационных пунктов системы мониторинга электрического поля
Масштаб карты 2 км.
1. Флюксметр ИПФ РАН
2. Флюксметр ИФМ РАН
3. Флюксметр ННГУ
4. Флюксметр на аэрологической станции "Нижний Новгород"
5. Метеорадар



Aerosol impact on clouds

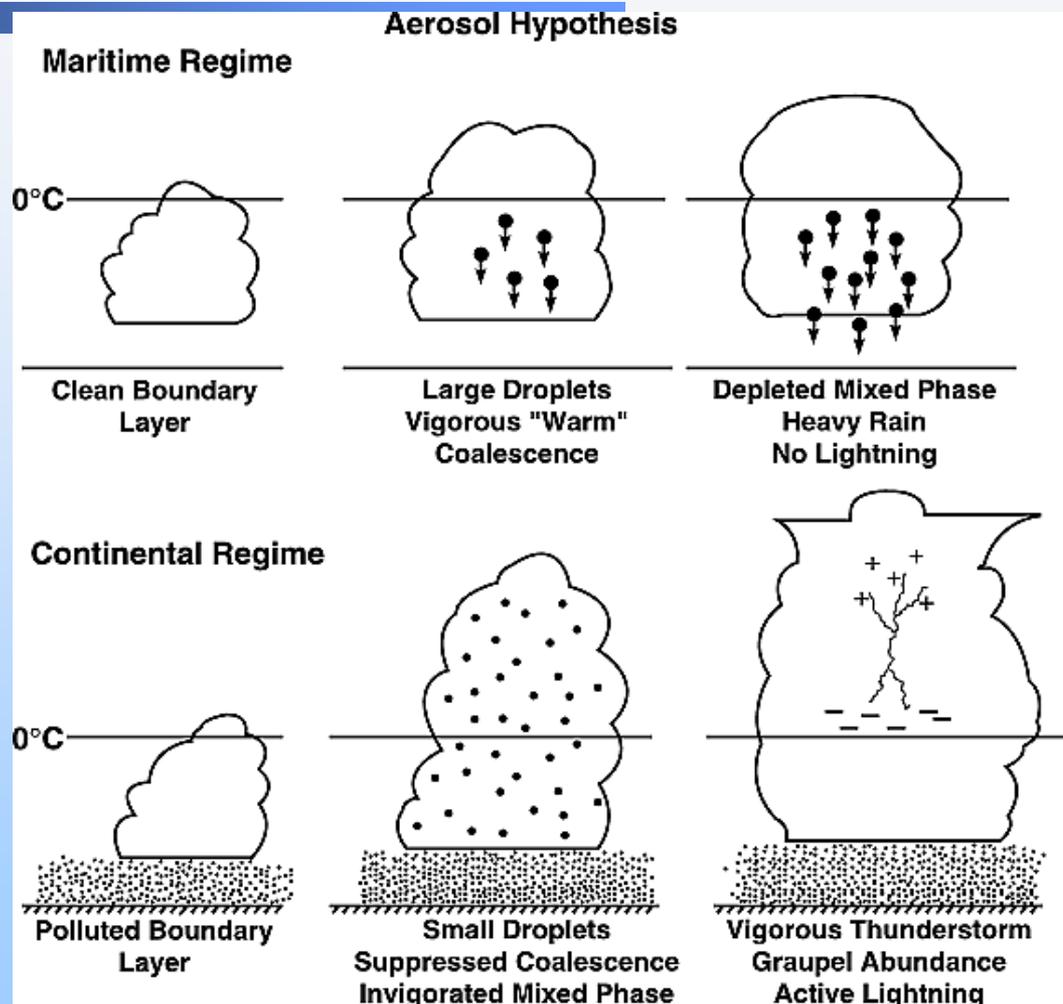
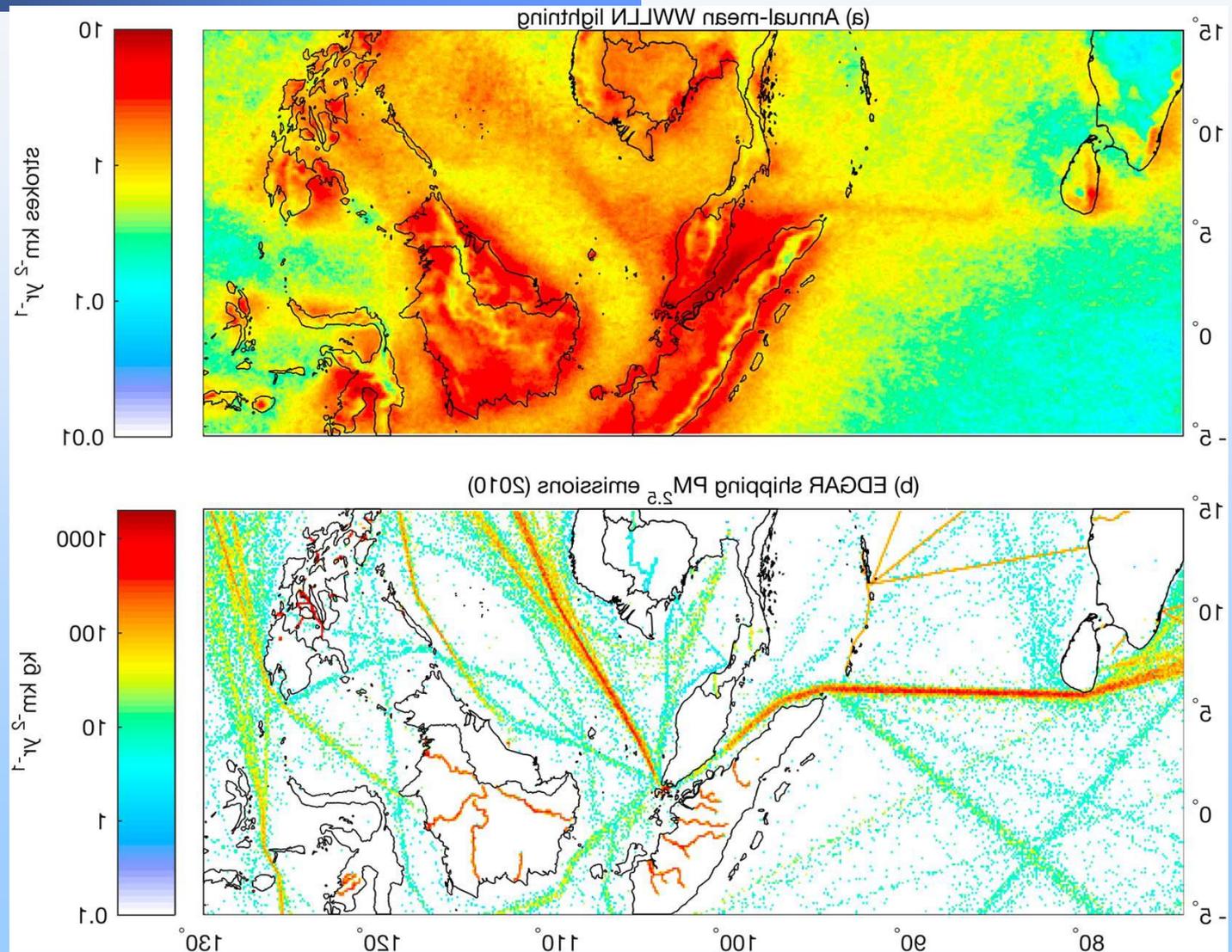


Illustration of the aerosol hypothesis for control of cloud precipitation and electrification. Williams et al., JGR, 2002

Thornton et al., GRL, 2017



Lightning and smoke from Amazonian fires

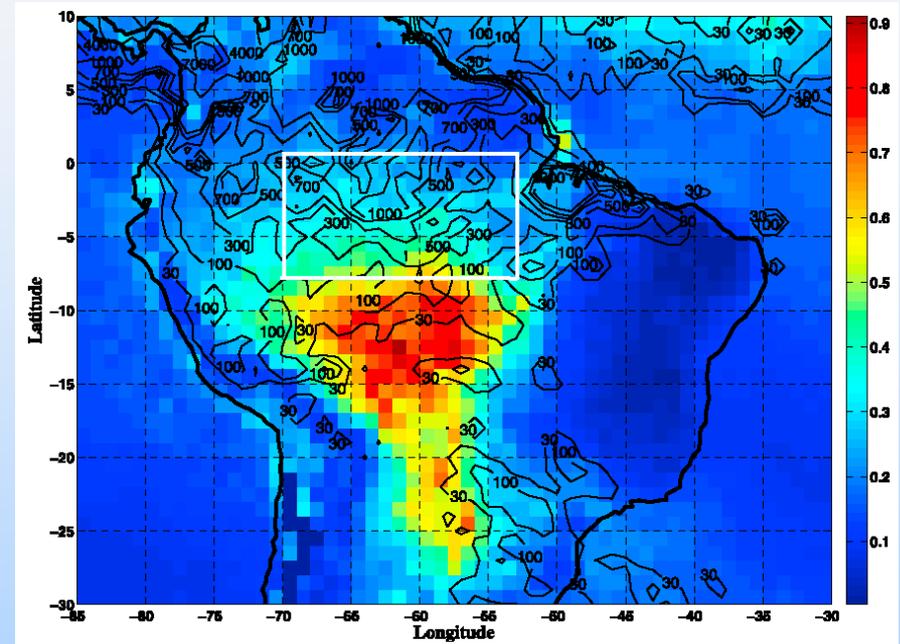
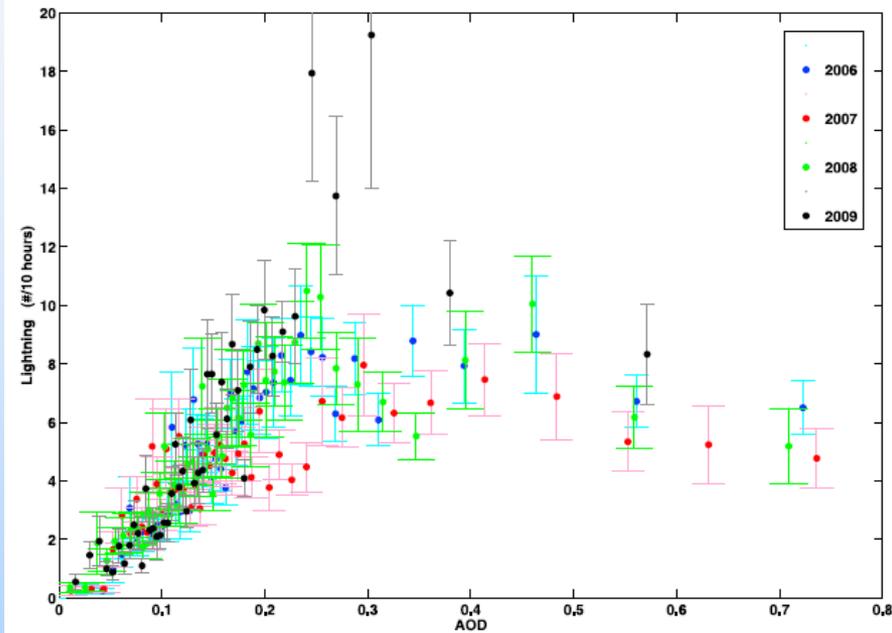
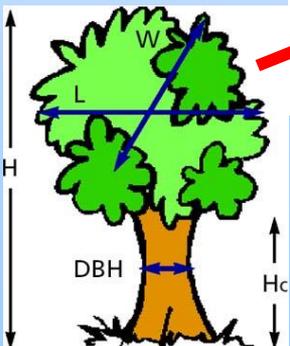


Fig.4 from Altaratz et al., 2010. Relationship between number of lightning strokes between 12–22 local time (#/10 hours) and AOD. 2006 data are marked in blue, 2007 in red, 2008 in green and 2009 in black.

Калибровка моделей на основе ЛЗЗ



Дистанционное зондирование с беспилотников, спутников и МКС на основе лидарной технологии



Полученные данные будут использованы для калибровки моделей на основе методов дистанционного зондирования, что позволит в перспективе масштабировать результаты пилотного проекта на территорию всей области без необходимости проведения детальных полевых исследований.

Цикл CO₂ и гидросфера

Океан является стоком для ~ 25% атмосферного CO₂, выбрасываемого в результате деятельности человека, что составляет более 2 (ПгС / год).

Открытые вопросы:

✓ **неопределенность при разработке параметризаций газообмена**

✓ **отсутствие натурных данных при**

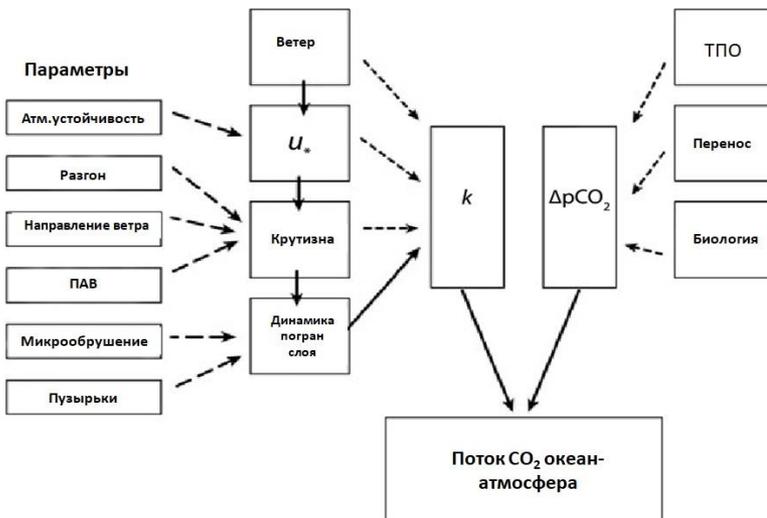
экстремально низких и высоких скоростях ветра.

Роль внутренних водоемов как активных и заметных участников в глобальном углеродном цикле неоспорима (Regnier et al., 2013) – они представляют собой реактивный резервуар Земли, который регулирует, сколько континентального углерода достигает океанов.

Открытые вопросы:

✓ *Недостаточно точные пространственные и временные оценки глобальных потоков газообразного углерода из внутренних водоемов*

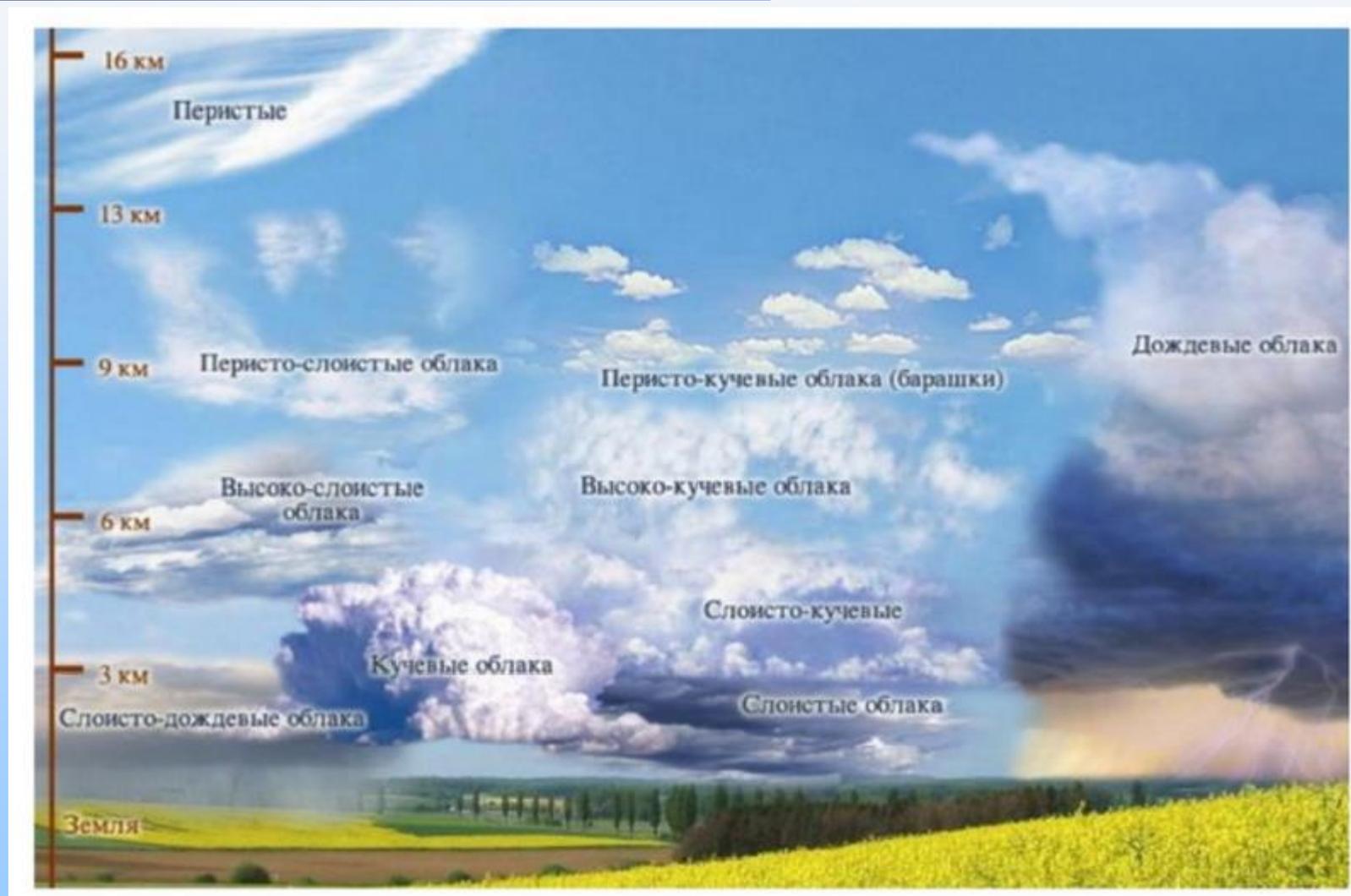
✓ *выбросы CO₂ из засушливых ручьев и рек (фон Шиллер и др. (2014))*



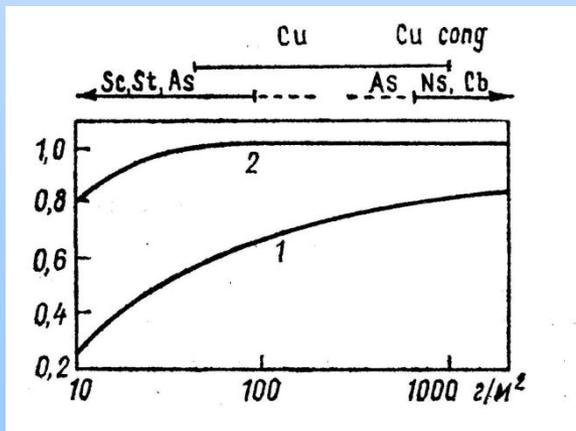
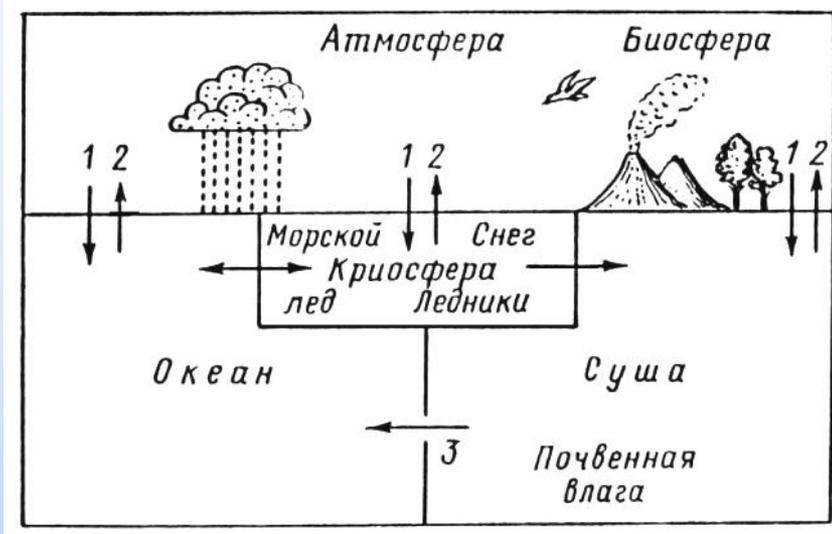
Мегагрант (19-17-00218)

*Электромагнитное окружение
Земли: формирование,
изменчивость, влияние на
биосферу*

Классификация облаков



Климатическая система; обратные связи



Ground-based measurements of microwave brightness temperature and electric field fluctuations for clouds with a different level of electrical activity

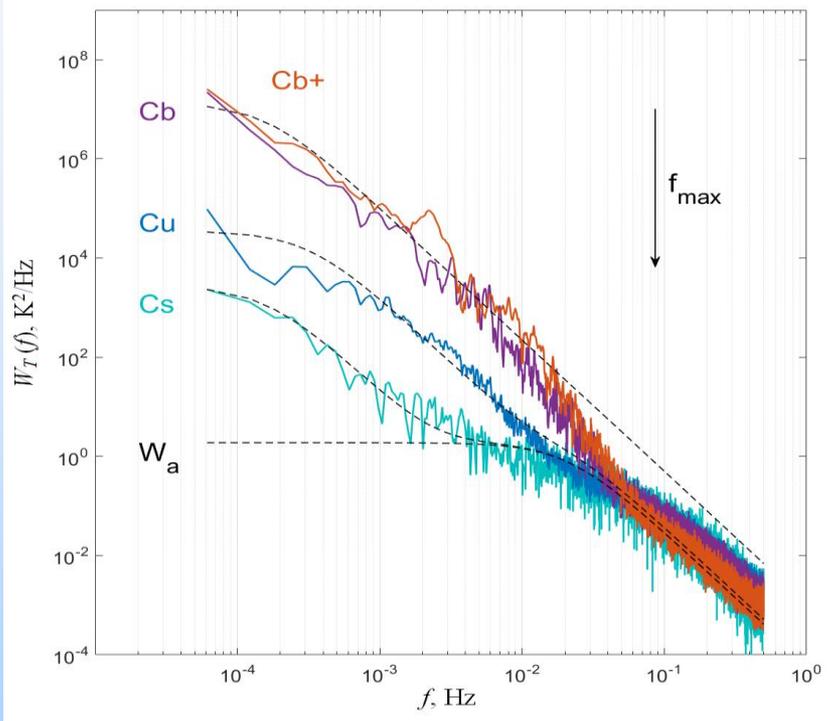
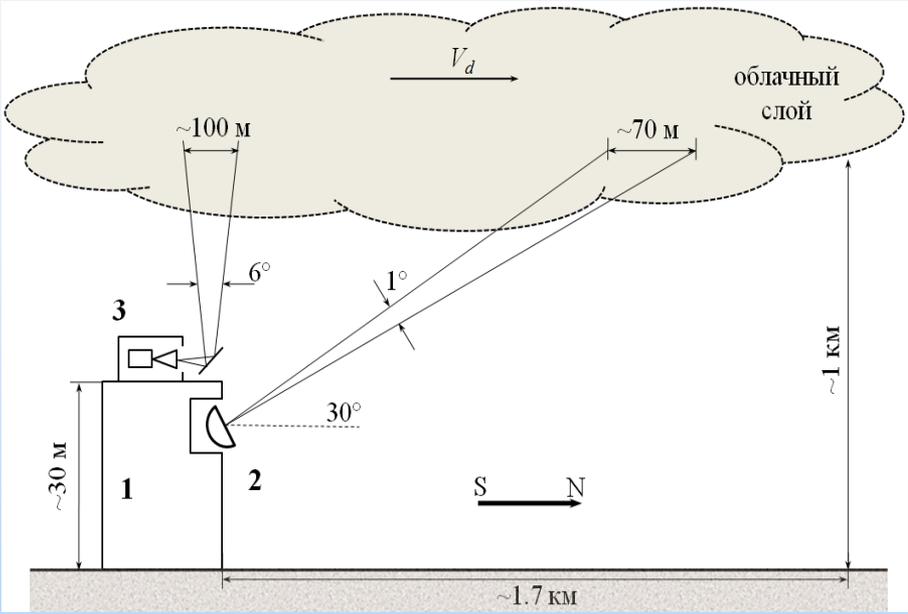


Схема проведения экспериментов: 1 – здание ИПФ РАН, 2 – расположение радиометра в 2013 г., 3 – расположение радиометра в 2018 г., V_d – обозначение скорости Горизонтального сноса.

Усредненные за время наблюдений спектральные плотности флуктуаций яркостной температуры облаков; сплошные линии – расчетная $W(f)$; пунктир –

Biological effects of extremely low-frequency electromagnetic field

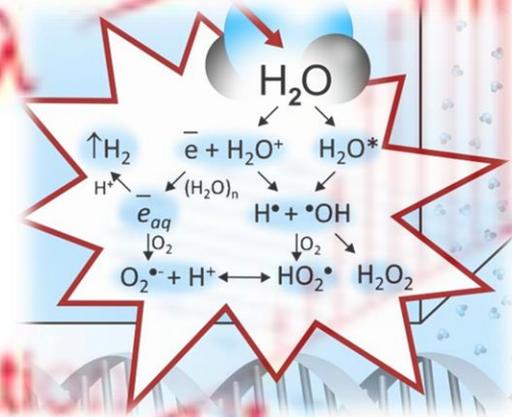
Project. Main steps

➤ Threshold definition

➤ Identification of potential targets (*in vitro*)

Aqueous solutions

Biological macromolecules (*in vitro*)



➤ The role of signaling systems in the the EMF effect

Ca^{2+} signaling (fluorescence analysis)

ROS signaling (fluorescence analysis)

Electrical signaling (microelectrode technics)

Phytohormones (mass spectrometry)

➤ EMF-induced changes in the activity of photosynthesis (PAM-imaging)

➤ The role of photosynthetic responses in changing productivity and stress tolerance

