



Поток времени как физическое явление — развитие идей Н.А. Козырева

С.М. Коротаяев

*Центр геоэлектромагнитных исследований Института
физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН*

$$\vec{F} = \vec{j} \frac{\omega r}{c_2} g \rho \cos \varphi |\sin \varphi|$$

$$\int \vec{F} dV = - \int \vec{R} dV$$

$$\vec{R} = -\vec{j} \frac{\omega r}{\pi c_2} g \rho$$

$$\vec{Q} = \vec{j} \frac{\omega r}{c_2} g \rho \left(\frac{1}{2} |\sin 2\varphi| - \frac{1}{\pi} \right)$$

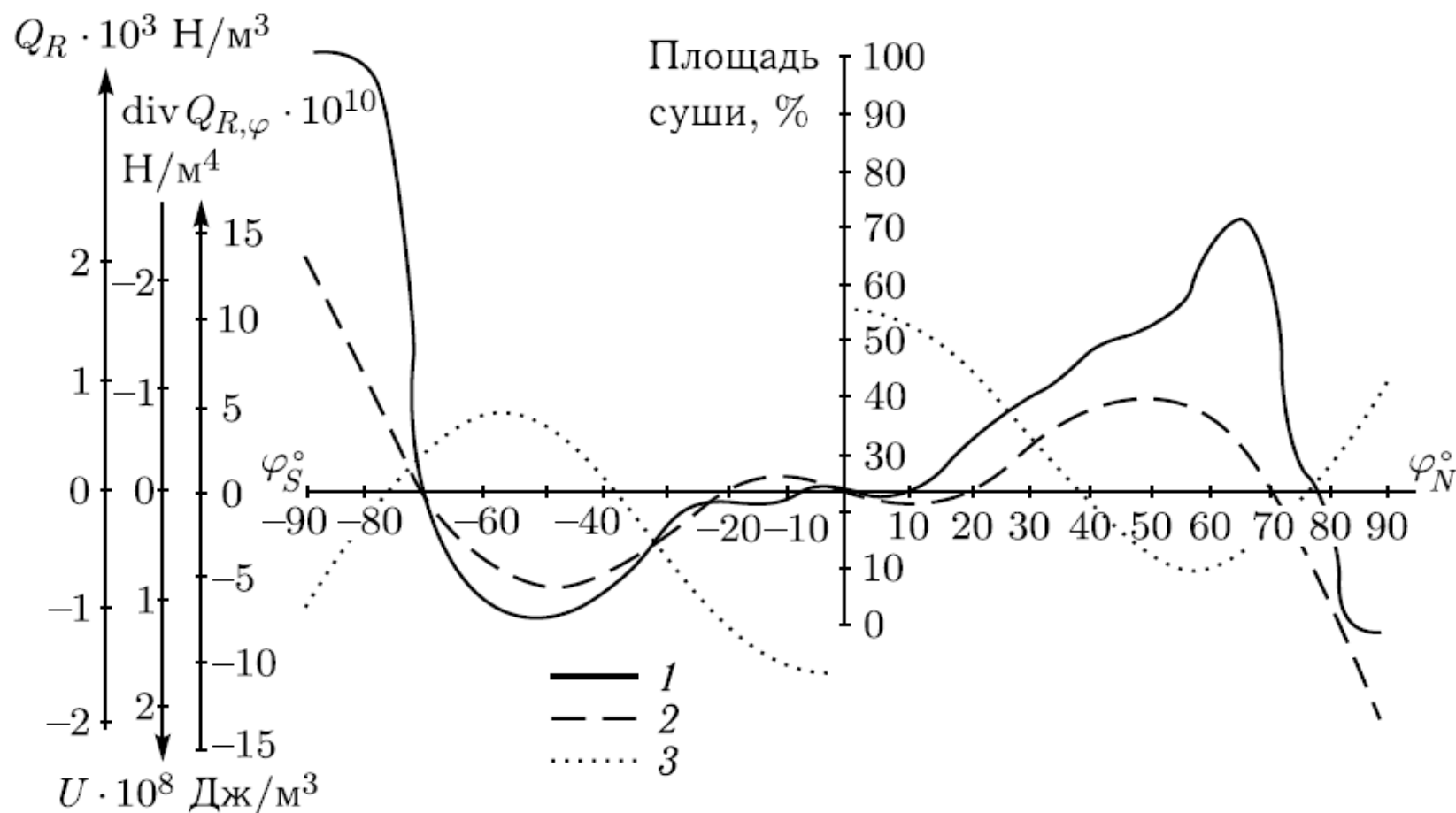
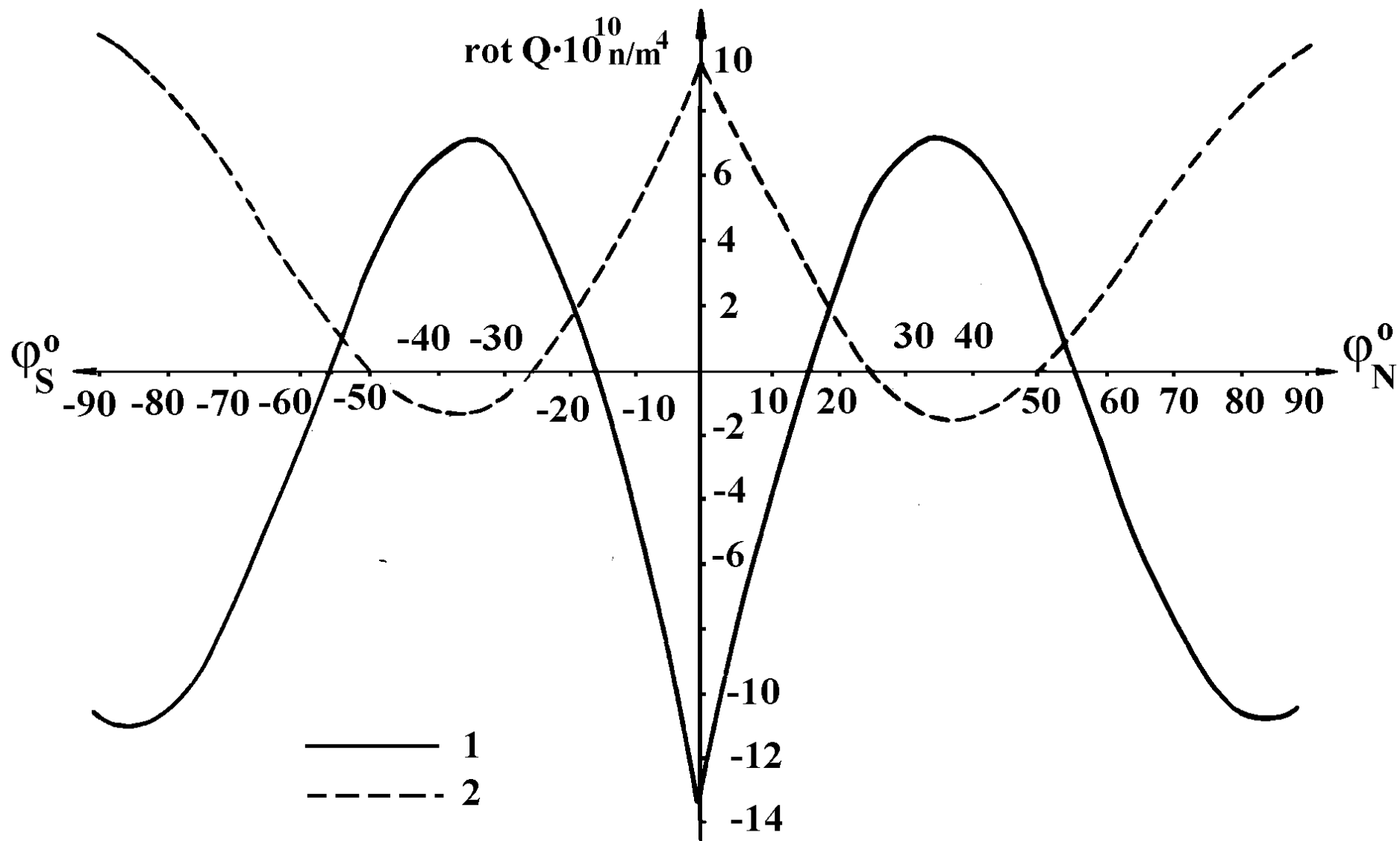


Рис. 1.2. Зональное распределение суши (1), вертикальной компоненты (2), дивергенции вертикальной (2) и горизонтальной (3) компонент и потенциала (3) силы причинности. Знак силы причинности взят для твердой Земли



Course of time

$$c_2 = \delta r / \delta t = a e^2 / \hbar$$

In the causeless limit $\delta t \rightarrow 0 \Leftrightarrow |c_2| \rightarrow \infty \Leftrightarrow \hbar \rightarrow 0$

CLASSICAL CAUSAL ANALYSIS

Marginal asymmetry

$$\alpha = \frac{S(B)}{S(A)}, 0 \leq \alpha \leq \infty$$

Conditional asymmetry

$$\beta = \frac{S(B|A)}{S(A|B)}, 0 \leq \beta \leq \infty$$

Independence functions

$$i_{B|A} = \frac{S(B|A)}{S(B)}, i_{A|B} = \frac{S(A|B)}{S(A)}, 0 \leq i \leq 1$$

Causality function

$$\gamma = \frac{i_{B|A}}{i_{A|B}} = \frac{\beta}{\alpha}, 0 \leq \gamma \leq \infty$$

Definition 1: *The cause A and the effect B are variables for which $\gamma < 1$.*

Axiom of classical causality: $\gamma < 1 \Rightarrow \tau > 0, \gamma > 1 \Rightarrow \tau < 0, \gamma \rightarrow 1 \Rightarrow \tau \rightarrow 0$

$$c_2 = k \frac{(1 - i_{B|A})(1 - i_{B|A} / \gamma)}{i_{B|A} / \gamma - i_{B|A}}$$

In the particular case $k = \frac{e^2}{\hbar}$

$$c_2 < 0 \Leftrightarrow \gamma > 1, c_2 > 0 \Leftrightarrow \gamma < 1, c_2 \rightarrow \pm\infty \Leftrightarrow \gamma \rightarrow 1$$

It is possible to replace γ by c_2 in the causality definition and axiom

QUANTUM CAUSAL ANALYSIS

$$-\infty \leq \beta \leq \infty$$

$$-1 \leq i \leq 1$$

$$-\infty \leq \gamma \leq \infty$$

$$c_2 = k \frac{(1 - i_{A|B})(1 - i_{B|A})}{i_{A|B} - i_{B|A}}$$

$$k = \Delta r / \delta t, \quad \delta t = \frac{\hbar \theta}{2\omega}$$

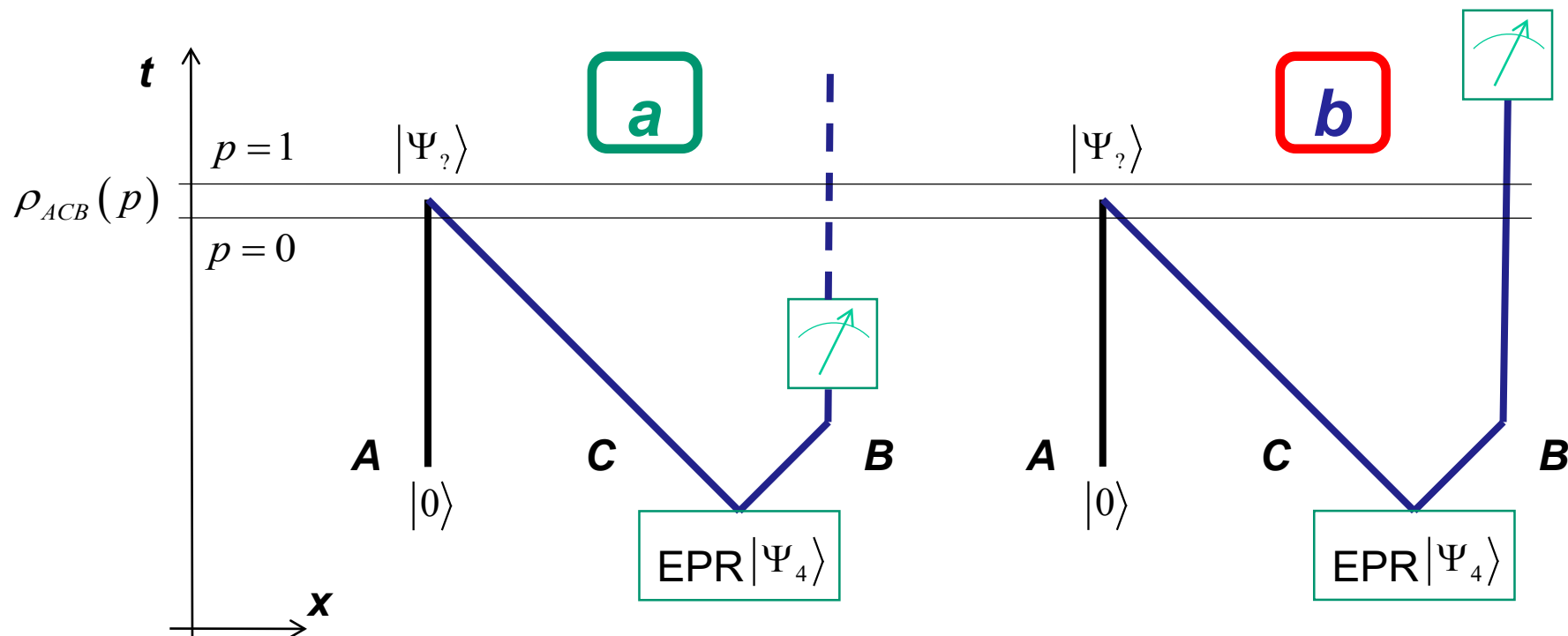
Definition 2:

The cause A and the effect B are the subsystems for which $c_2(A,B) > 0$.

Axiom of strong causality:

$$c_2 > 0 \Rightarrow \tau > 0, c_2 < 0 \Rightarrow \tau < 0, |c_2| \rightarrow \infty \Rightarrow \tau \rightarrow 0$$

Standard tensor product treatment



Macroscopic entanglement equation

$$\dot{S}_d = \sigma \int \frac{\dot{S}}{x} \delta(v^2 t^2 - x^2) dV$$

$$v^2 \leq c^2$$

$$\sigma \sim \frac{h^4}{m_e^2 e^4}$$

Relation between the advanced field, radiation damping and entropy production

$$E^{\text{adv}} = E^{\text{ret}} - \frac{4e^2}{3qc^3} \ddot{x}.$$

$$P = \frac{2}{3} \frac{e^2}{c^3} \langle \ddot{x}^2 \rangle = -\frac{2}{3} \frac{e^2}{c^3} \langle \ddot{x} \dot{x} \rangle.$$

$$\dot{S} = \frac{P}{kT}$$

$$\langle \ddot{x} \dot{x} \rangle = -\frac{3}{2} \frac{c^3}{e^2} kT \dot{S}$$

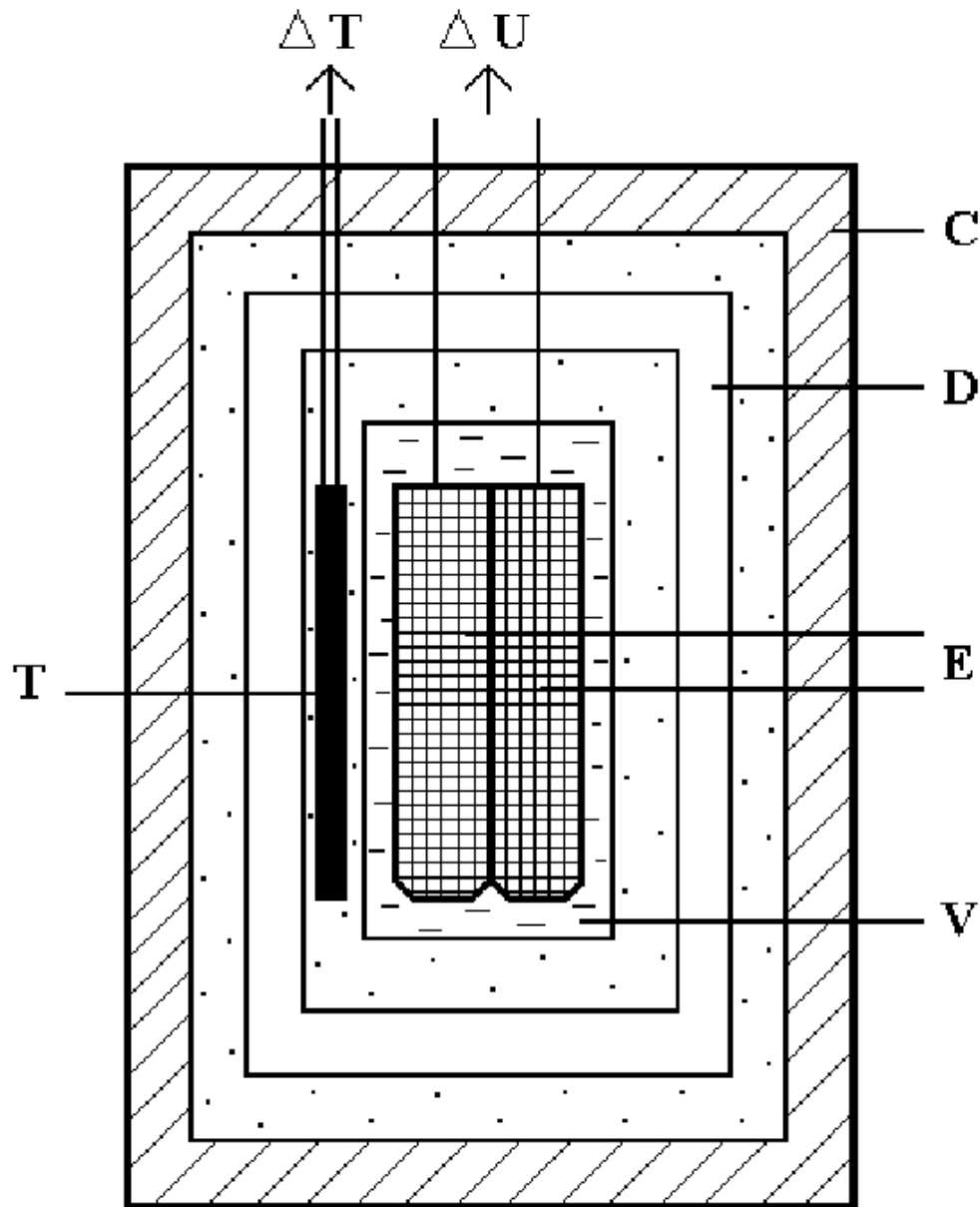
Advanced/retarded absorption efficiency asymmetry

$$E = AE^{\text{ret}} + BE^{\text{adv}}$$

$$A = \frac{1-b}{2-a-b}, \quad B = \frac{1-a}{2-a-b}$$

$$A=1, B=0 \Rightarrow a=1, 0 \leq b < 1$$

Simplified sketch of the lab electrode detector



C, case (thickness of the walls is 20 *mm*);

D, Dewar;

V, vessel with the electrolyte;

E, electrodes (complicated internal design is not shown);

T, temperature sensor.

Materials: shade, caprolon;
doubleshade, ebonite; dots, air;
unshaded space, vacuum.

Principle of the electrode detector of nonlocal correlations

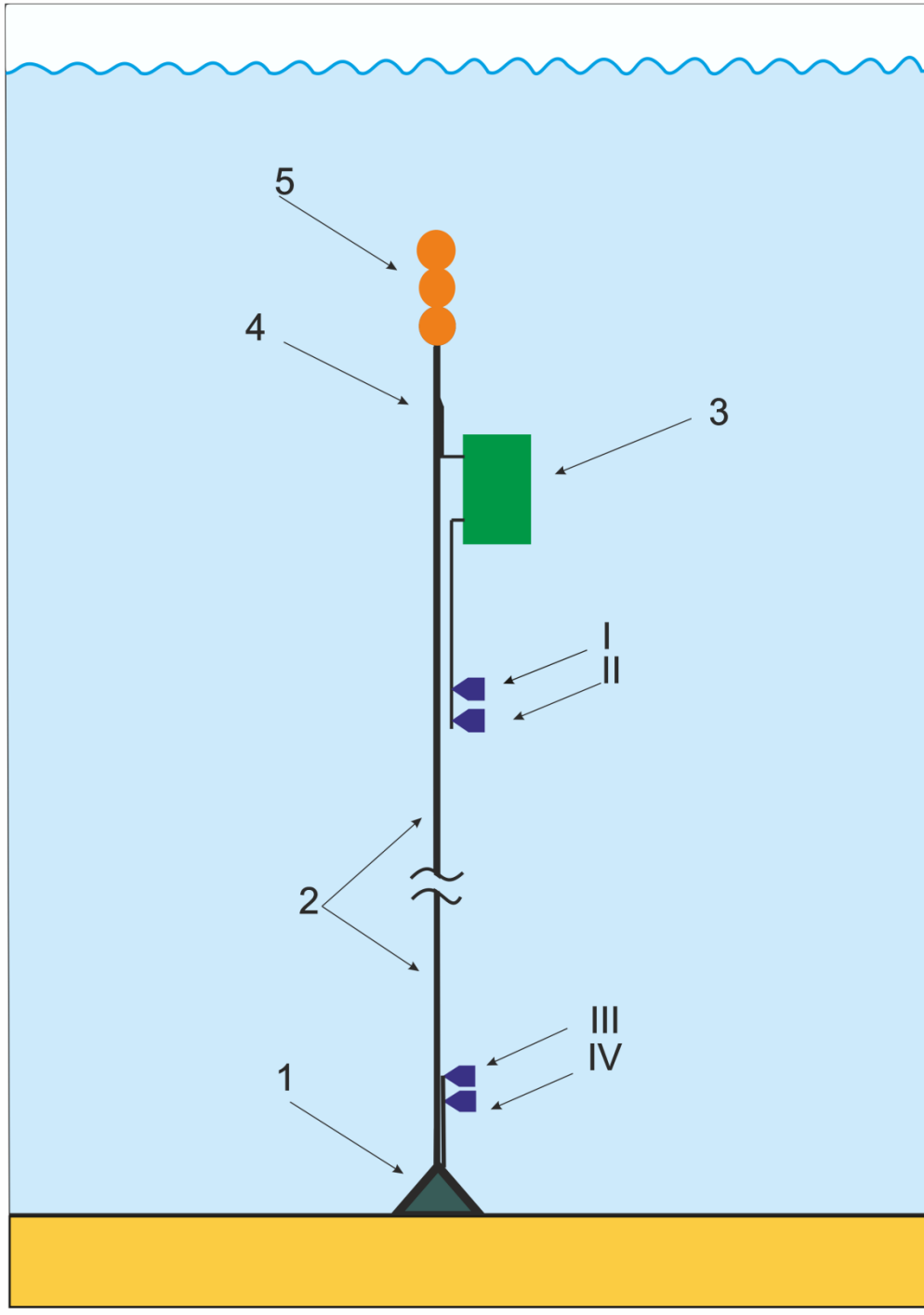
$$u = \frac{2kT}{q} \ln \cos \left(x \arccos \exp \frac{q\zeta}{2kT} \right),$$

$$\varphi = \frac{u}{\int_0^1 u dx} \quad S = - \int_0^1 \varphi \ln \varphi dx$$

$$S \approx \ln 6 - 2 \ln(\arccos \exp w) + \frac{6 \left(\ln |w| \cdot w \arcsin \exp w - \exp w \ln |w| - \exp w + \ln |w| + w + \frac{w^2}{4} + 1 \right)}{(\arccos \exp w)^3},$$

$$w = \frac{q\zeta}{2kT}, \quad w < 0$$

Baikal Deep-Sea Setup



Site depth is 1367 m

Electronics unit depth is 20 m

Top detector depth is 47 m

Bottom detector depth is 1337 m

Top-bottom detector separation is 1290 m

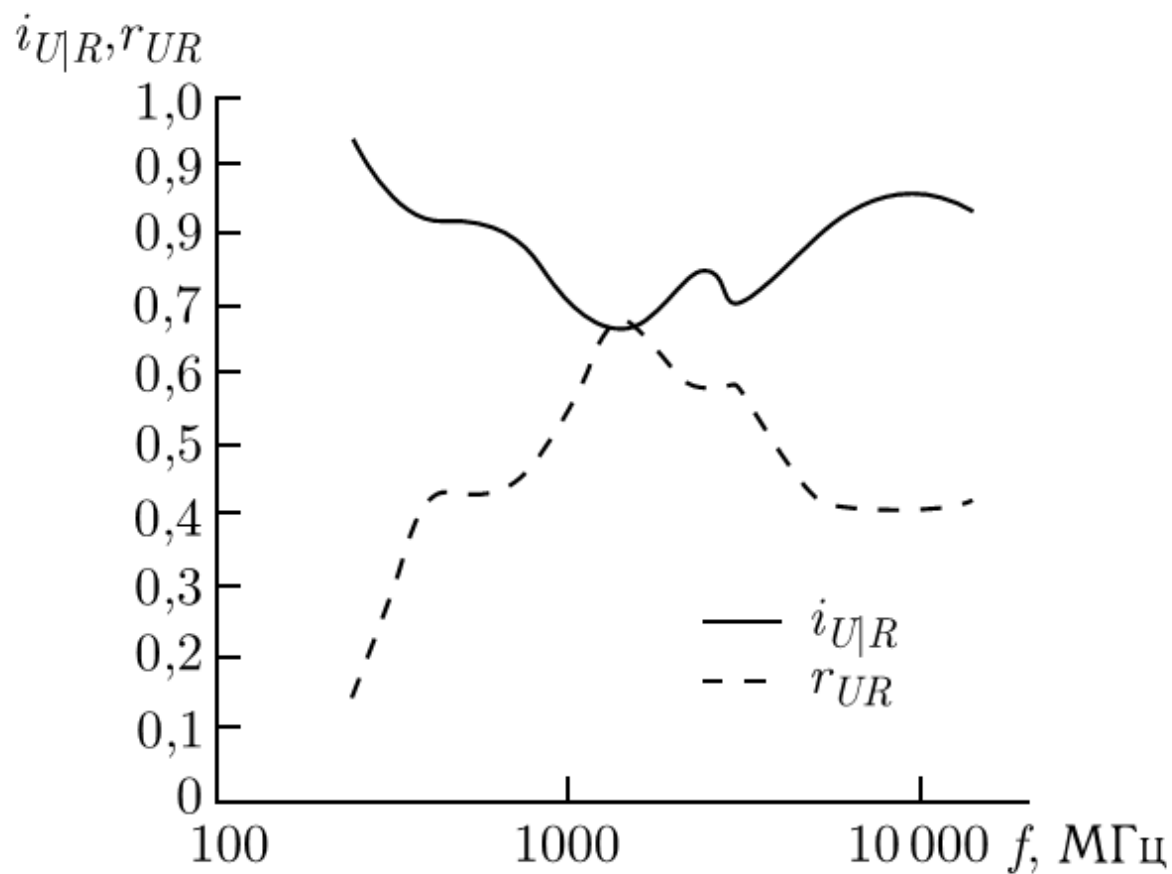


Рис. 7.22. Независимость U от потока солнечного радиоизлучения R и их корреляция $r_{U|R}$ как функции частоты f

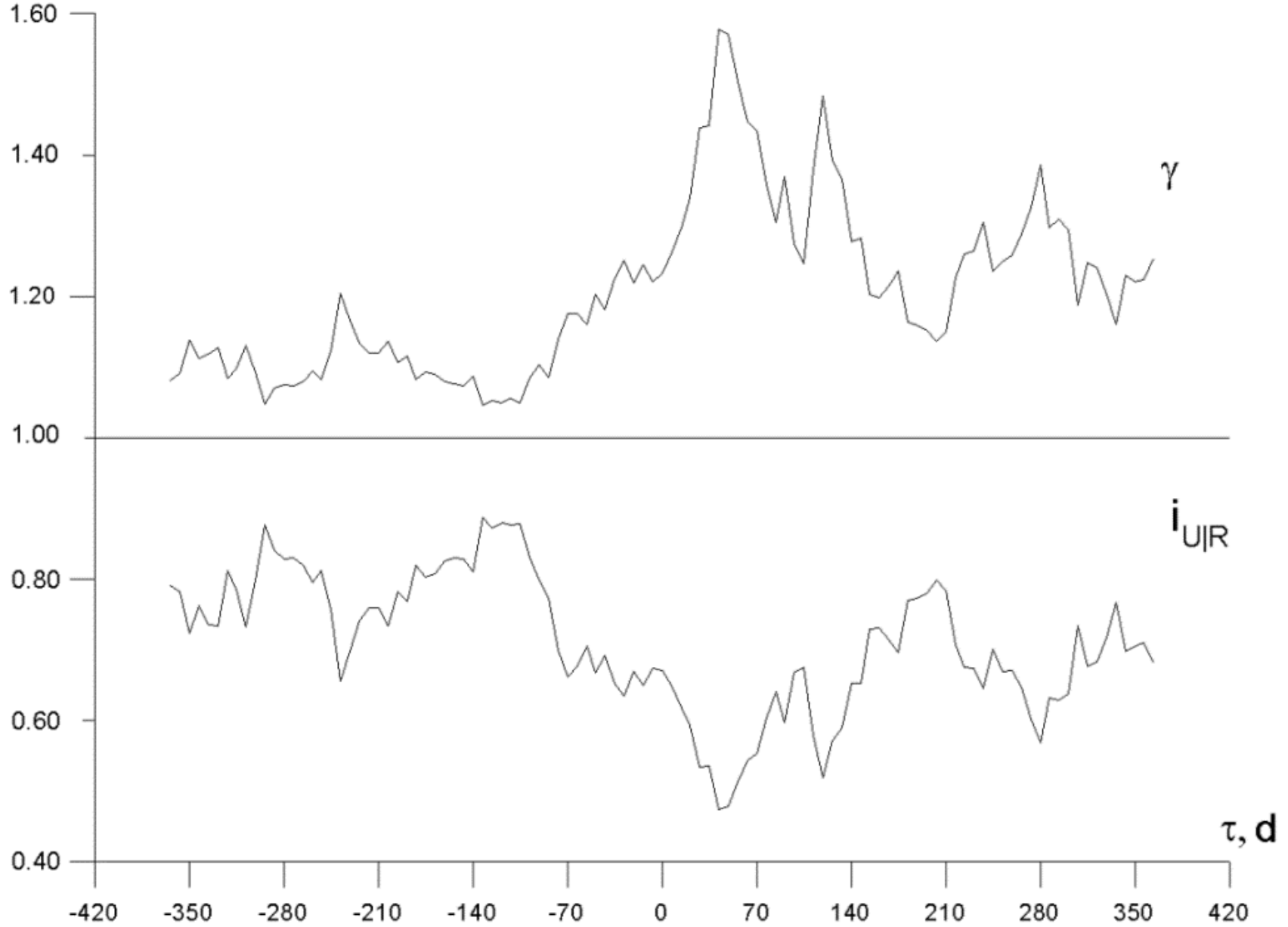
MACROSCOPIC ENTANGLEMENT EVIDENCES:

Violation of classical (strong) causality:

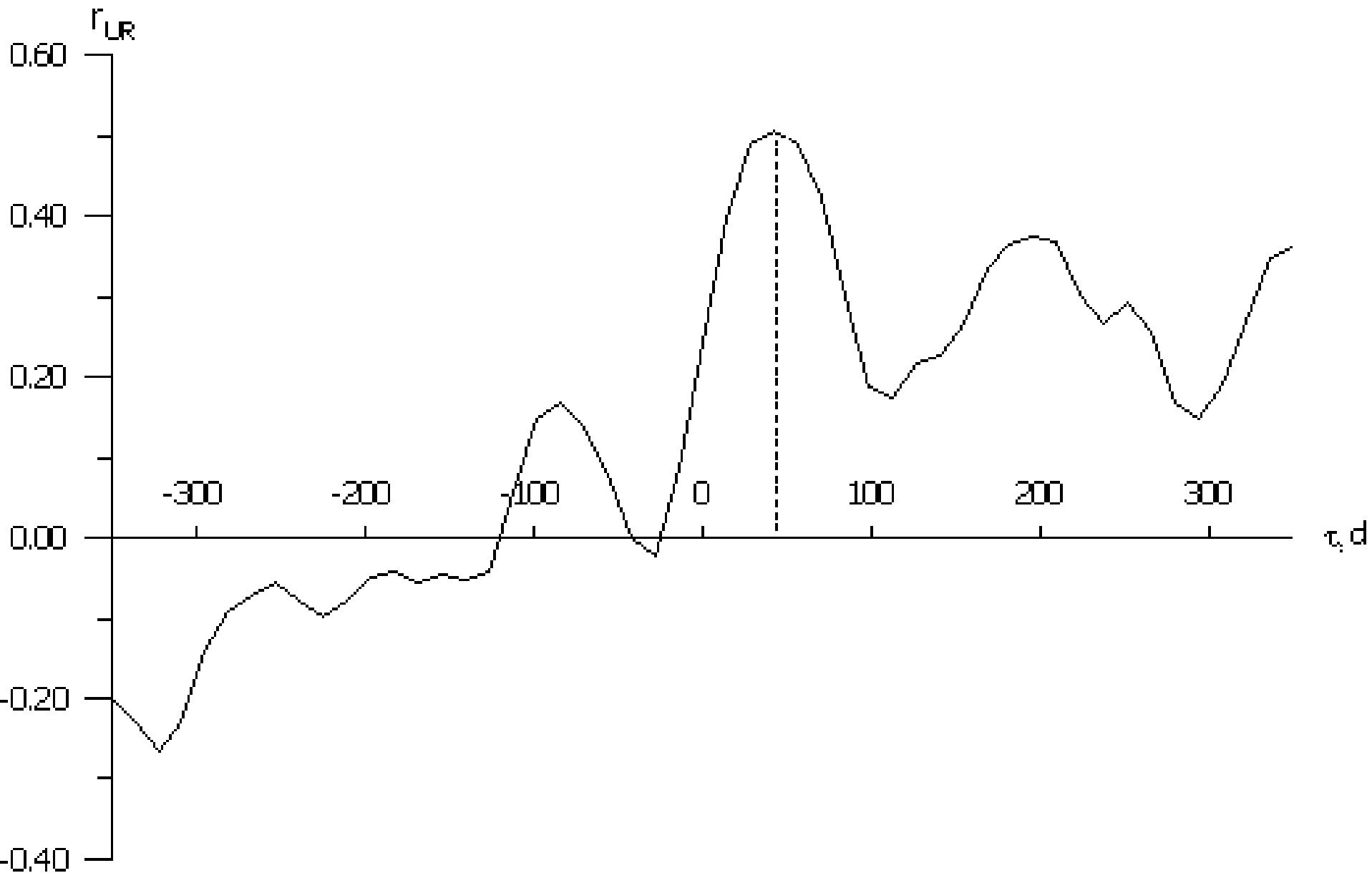
$$B \rightarrow A: \quad \gamma > 1 \Rightarrow \tau < 0$$

Violation of steering inequality:

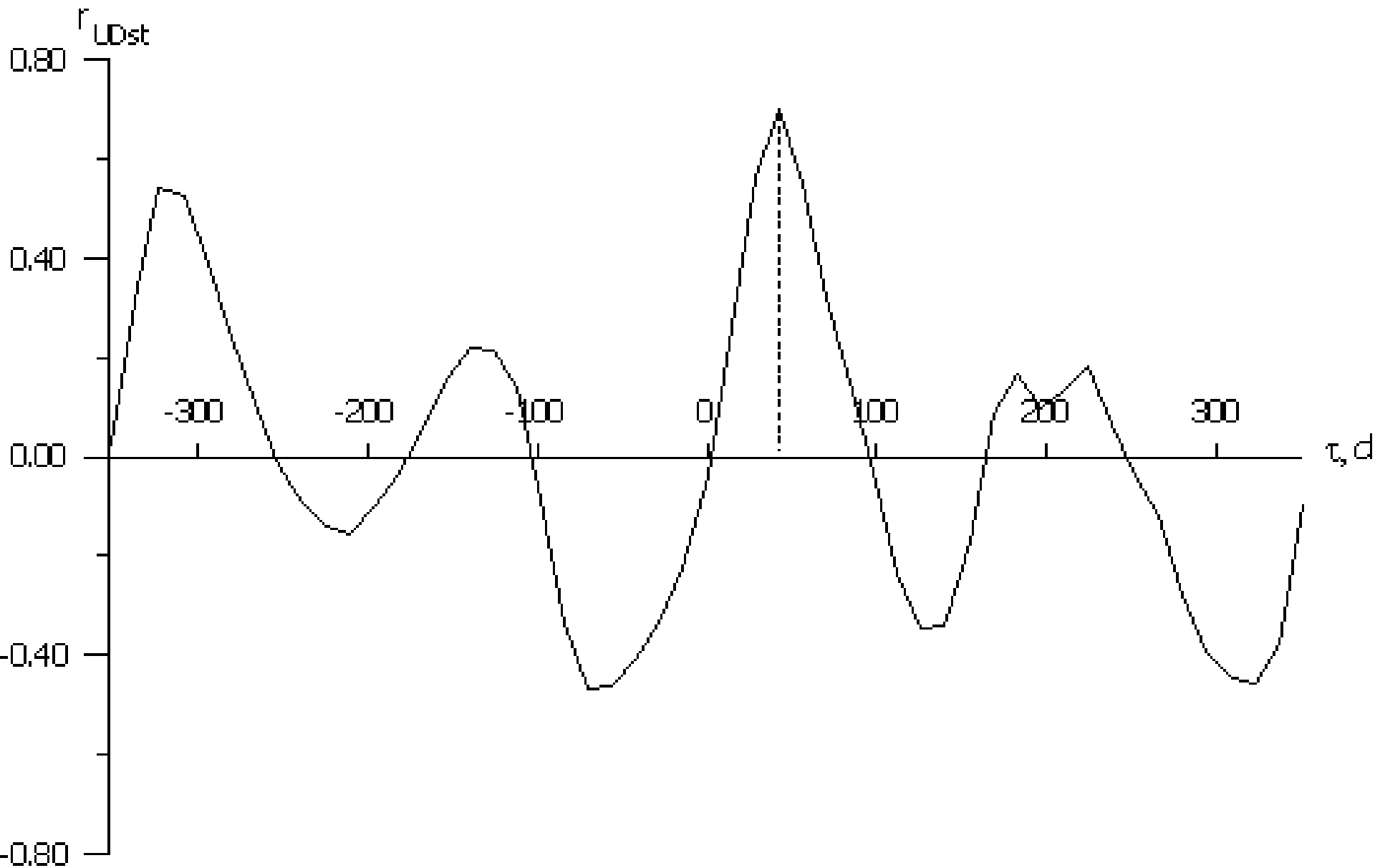
$$C \rightarrow B \rightarrow A: \quad i_{A|C} \geq \max(i_{A|B}, i_{B|C})$$



An example of the causality and independence functions of the detector signal U and solar radio flux R at frequency 2800 MHz . $\tau < 0$ corresponds to retardation of U relative to R , $\tau > 0$ – to advancement.



An example of the correlation function of the detector signal U and solar radio flux R at frequency 2800 MHz . $\tau < 0$ corresponds to retardation of U relative to R , $\tau > 0$ – to advancement.



An example of the correlation function of the detector signal U and geomagnetic activity Dst . $\tau < 0$ corresponds to retardation of U relative to R , $\tau > 0$ – to advancement.

$$C \rightarrow B \rightarrow A$$

$$i_{A|C} \geq \max(i_{A|B}, i_{B|C})$$

$$A = Ut, B = Dst, C = R \text{ or } X$$

With filtration $365 > T > 59$ days:

$$\text{for } C = R: i_{Ut|R} = 0.35_{-0.00}^{+0.05}, i_{Ut|Dst} = 0.51_{-0.00}^{+0.08}, i_{Dst|R} = 0.57_{-0.01}^{+0.00};$$

$$\text{for } C = X: i_{Ut|X} = 0.36_{-0.00}^{+0.14}, i_{Ut|Dst} = 0.51_{-0.00}^{+0.08}, i_{Dst|X} = 0.55_{-0.00}^{+0.00}.$$

With filtration $365 > T > 77$ days:

$$\text{for } C = R: i_{Ut|R} = 0.34_{-0.05}^{+0.00}, i_{Ut|Dst} = 0.47_{-0.01}^{+0.00}, i_{Dst|R} = 0.54_{-0.00}^{+0.00};$$

$$\text{for } C = X: i_{Ut|X} = 0.28_{-0.00}^{+0.02}, i_{Ut|Dst} = 0.47_{-0.01}^{+0.00}, i_{Dst|X} = 0.55_{-0.01}^{+0.01}.$$

Estimation of the cross-section

$$\dot{s} = \frac{\langle E^2(f) \rangle}{\rho k T} = \frac{|Z(f)|^2 \langle F^2(f) \rangle}{\rho k T}$$

$$|Z(f)|^2 = 2\pi f \mu_0 \rho$$

$$\Delta S \approx -\frac{1}{\sqrt{6}} \frac{|q|}{kT} \Delta U, \quad \Delta S = -\frac{\Delta I}{\langle I \rangle}, \quad \Delta S = -\frac{\Delta d}{\langle d \rangle}.$$

$$\frac{I(f)}{F^2(f)} = \text{const}$$

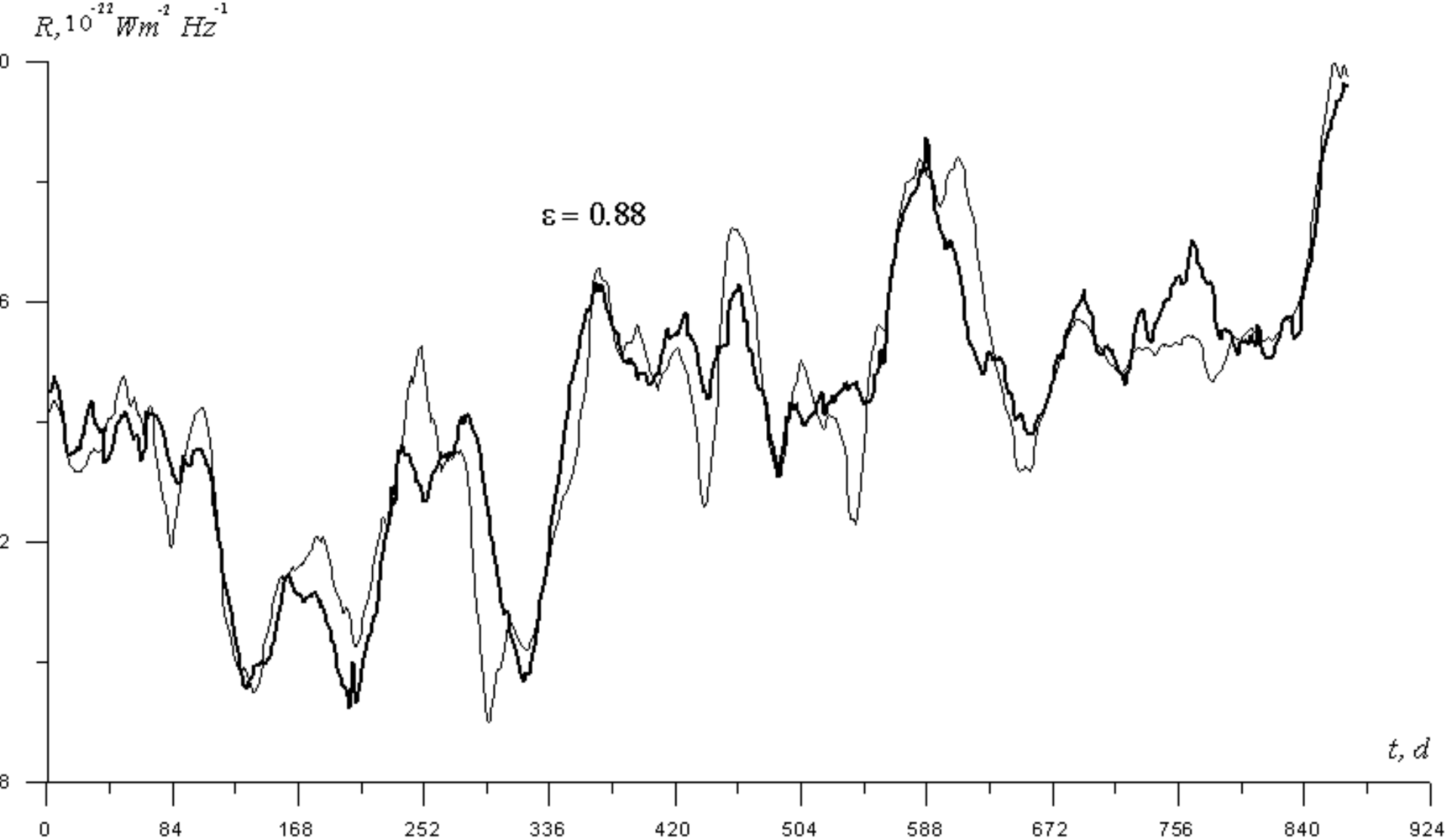
$$K(I / Dst^2) = 0.12$$

$$K(I / Dst) = 0.31$$

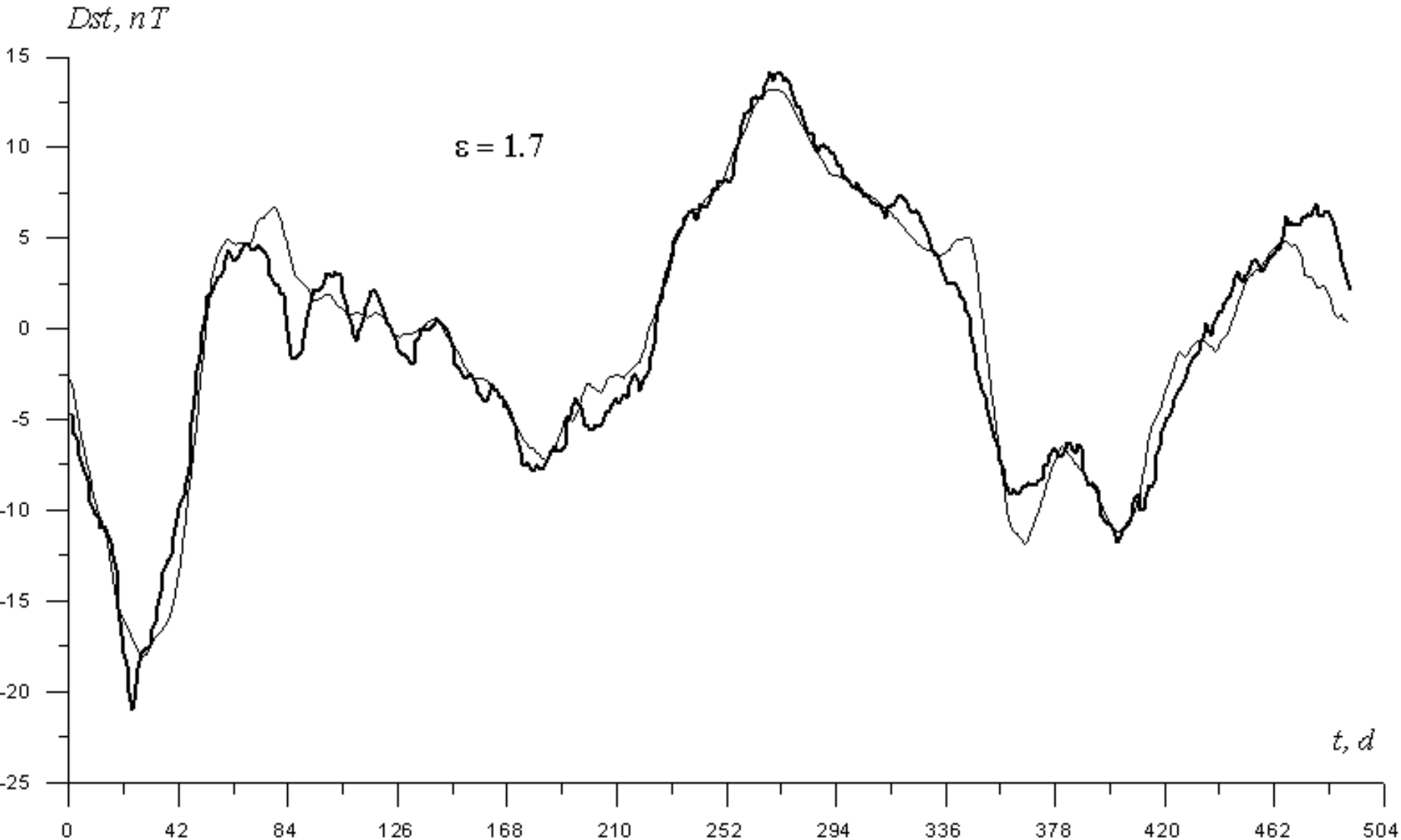
$$\sigma_I \approx 5 \cdot 10^{-20} m^2$$

$$\sigma_U \approx 8 \cdot 10^{-20} m^2$$

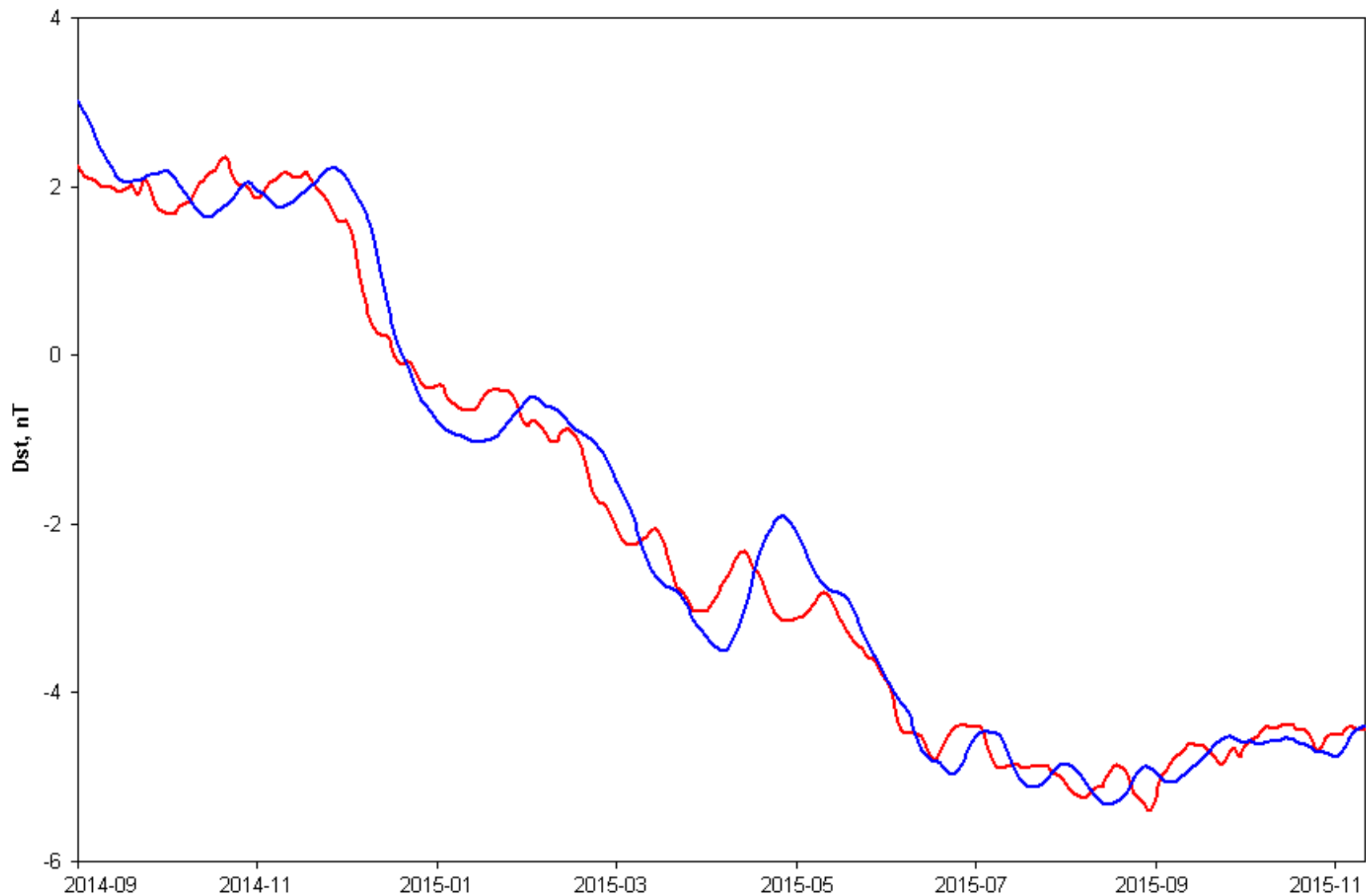
$$\sigma_d \approx 6 \cdot 10^{-19} m^2$$



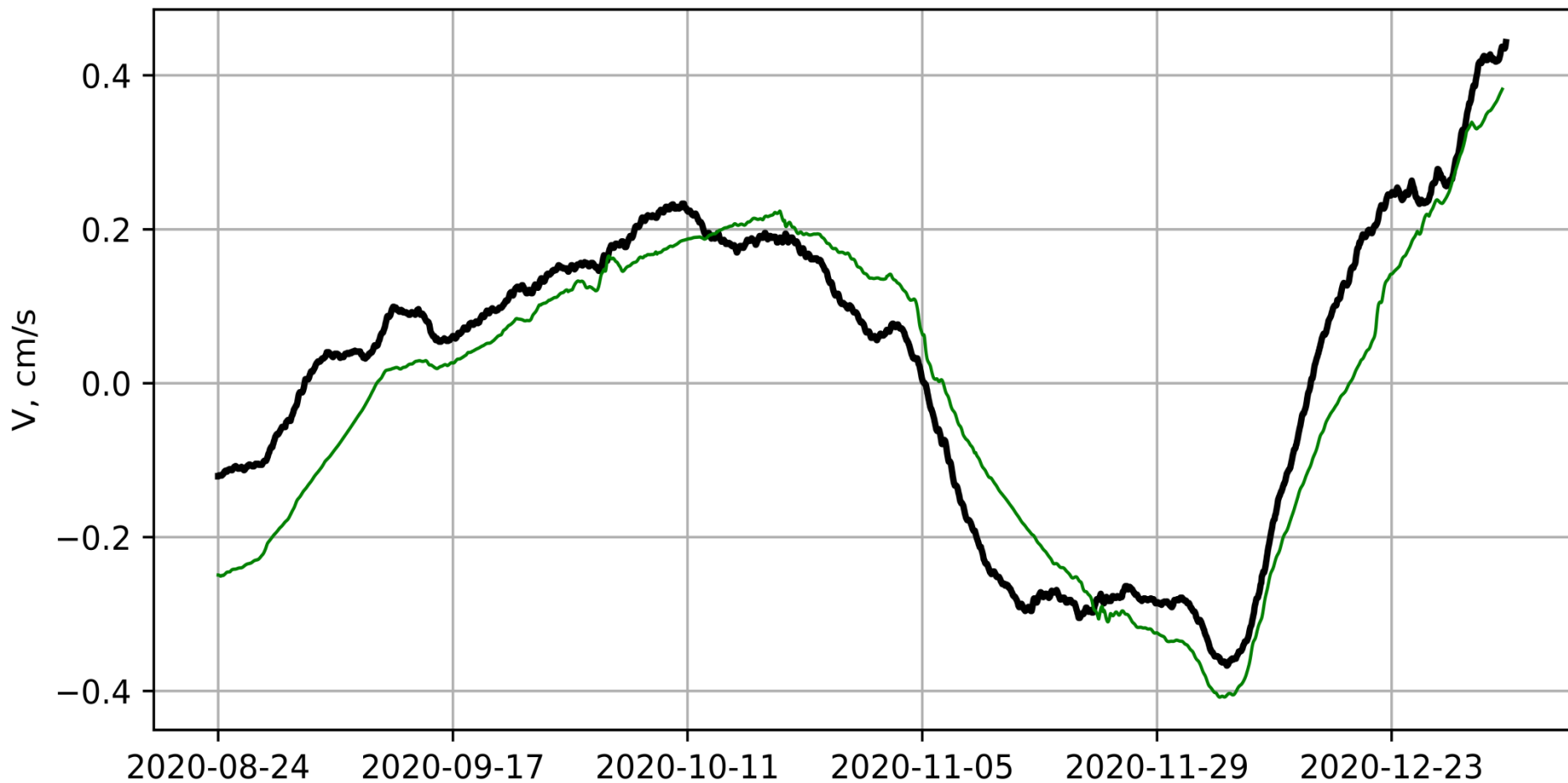
Пример прогноза солнечной активности R с фиксированной заблаговременностью 42 суток (тонкая линия) в сравнении с фактической кривой (жирная линия). ε — среднеквадратическая ошибка прогноза, $10^{-22} \text{ Wm}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$. По: [Коротаев С.М., Сердюк В.О., Горохов Ю.В. Прогноз геомагнитной и солнечной активности на основе нелокальных корреляций // Доклады Академии наук. 2007. Т. 415. № 6. С. 814-817].



Пример прогноза геомагнитной активности Dst с фиксированной заблаговременностью 42 суток (тонкая линия) в сравнении с фактической кривой (жирная линия). ε — среднеквадратическая ошибка прогноза, nT . По: [Коротаев С.М., Сердюк В.О., Горохов Ю.В. Прогноз геомагнитной и солнечной активности на основе нелокальных корреляций // Доклады Академии наук. 2007. Т. 415. № 6. С. 814-817].



Прогноз Dst методом текущей импульсной переходной характеристики с фиксированной заблаговременностью 329 сут (синяя линия) в сопоставлении с фактической кривой (красная линия). Среднеквадратичная погрешность прогноза 0.40 нТл.



Forecast of random variations in the sea current velocity V at a depth of 50 m (relative to the sliding 77-day average) with a fixed advancement 16 days by the Ut detector data. The standard deviation of the forecasted (green line) and actual (black line) curves is 0.073 cm/s.

Помимо множества статей, три монографии с систематическим изложением исследований:

1. *Korotaev S.M.* Causality and Reversibility in Irreversible Time. Irvine, CA: Scientific Research Publishing, 2011. – 130 p.
2. *Киктенко Е.О., Коротаев С.М.* Причинность в квантовом мире. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2012. 113 с.
3. *Коротаев С.М., Морозов А.Н.* Нелокальность диссипативных процессов – причинность и время. М.: Физматлит. 2018. – 216 с.

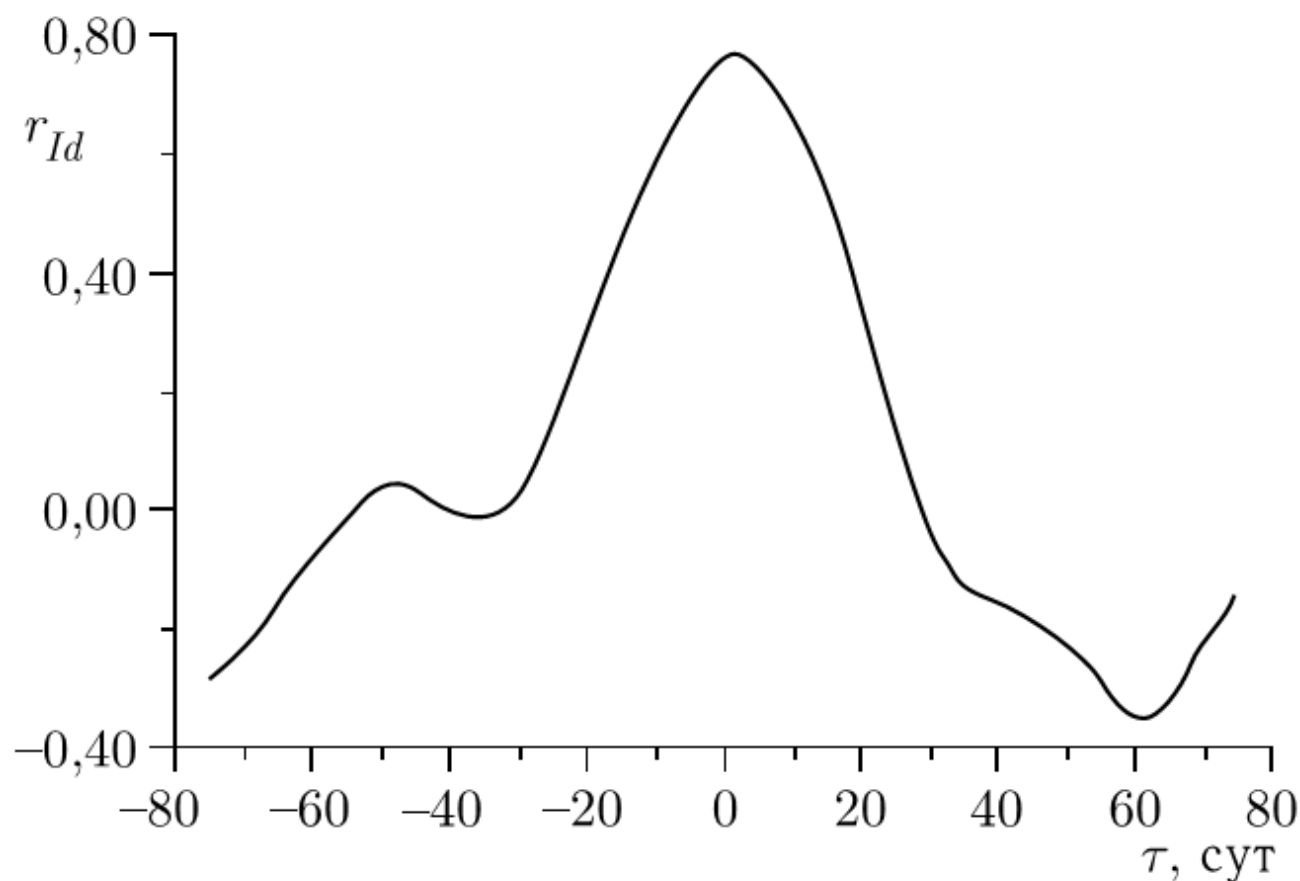
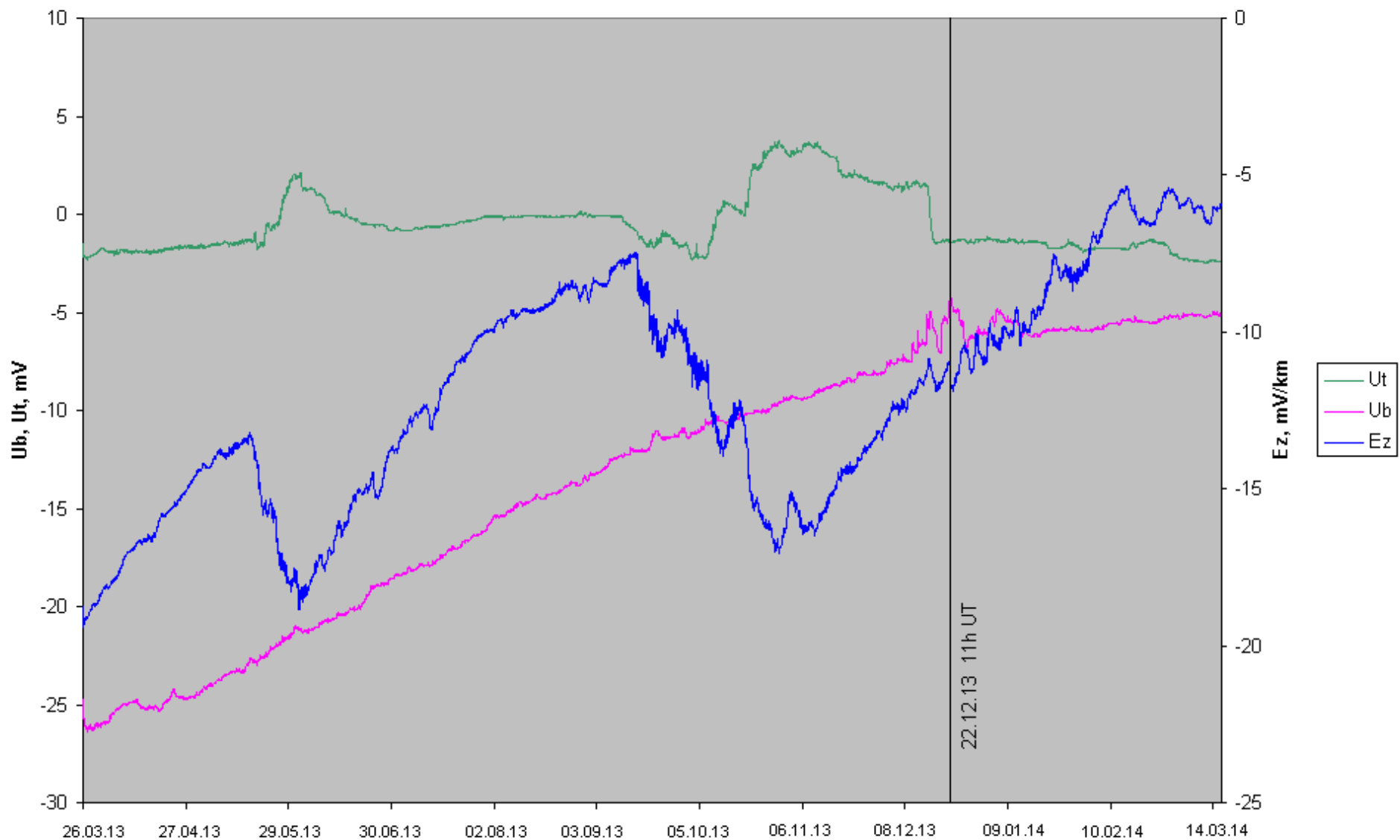


Рис. 7.3. Корреляционная функция сигналов фотокатодного детектора I и электролитического детектора d . τ — сдвиг времени в сутках. Максимум корреляции соответствует $\tau = 0$. Данные подвергнуты низкочастотной фильтрации ($T > 20$ сут)



Hourly average values of signals of the top U_t and bottom U_b detectors (E_z is the electric field). The vertical line is the earthquake moment.