

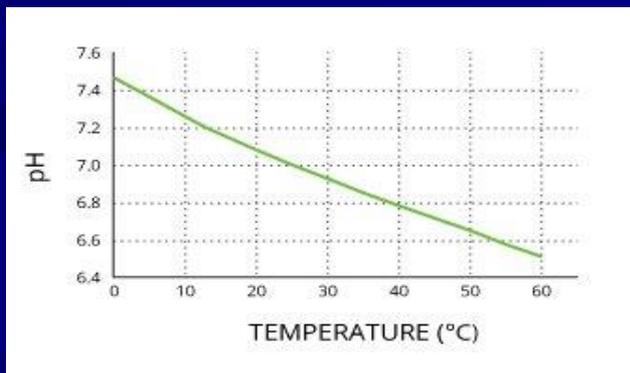
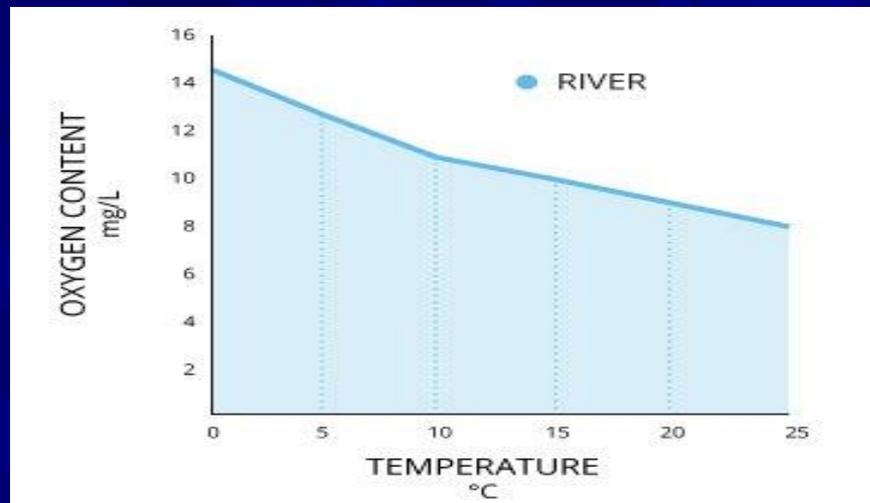
# ***Термический режим рек.***



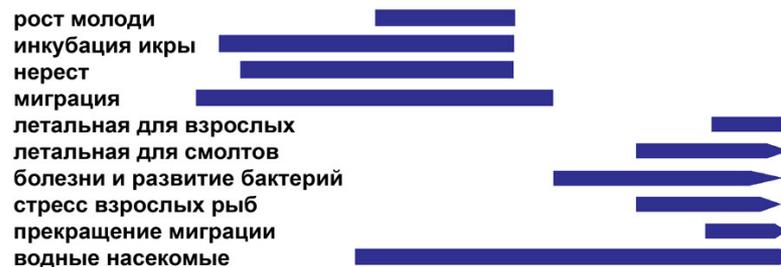
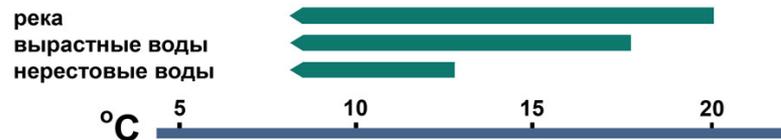
***Термический режим рек*** –  
пространственно-временные  
изменения теплового состояния  
водотоков

***Температура воды*** – главная  
характеристика теплового  
состояния рек

# Температура воды – важнейшая гидрологическая характеристика



## Стандарты качества воды по температуре



Пределы оптимальной температуры для водных организмов

# Изменение потоков теплоты и внутренней энергии водного объекта

- $\Theta_{\text{в}}$  - теплота, поступающая вместе с речной водой через верхний створ
- $\Theta_{\text{н}}$  - теплота, уходящая с речной водой через нижний створ
- **A** – сумма всех компонентов теплообмена через границу «поверхность реки — воздух».  $A = R_{\pm} \Theta_{\text{атм}} + \Theta_{\text{х}} + \Theta_{\text{конд}} - \Theta_{\text{исп}}$
- **B** - сумма всех компонентов теплообмена через границу «вода — грунт»: приток или отток теплоты с грунтовыми водами  $\Theta_{\text{w}+}$  и  $\Theta_{\text{w}-}$ , приход или расход теплоты в процессе теплообмена с грунтами  $\Theta_{\text{гр}}^{+}$  и  $\Theta_{\text{гр}}^{-}$ .
- **C** - слагаемые, связанные с тепловыми процессами в самом потоке (теплота, получаемая при переходе части кинетической энергии в тепловую, т.е. при диссипации энергии  $\Theta_{\text{дис}}$ , приход теплоты при ледообразовании  $\Theta_{\text{лед}}$  и расход при таянии льда  $\Theta_{\text{пл}}$ ).

$$\Delta\Theta = \Theta_{\text{в}} - \Theta_{\text{н}} + A + B + C,$$

$\Delta\Theta$  — изменение количества теплоты в воде за интервал времени  $\Delta t$ ,

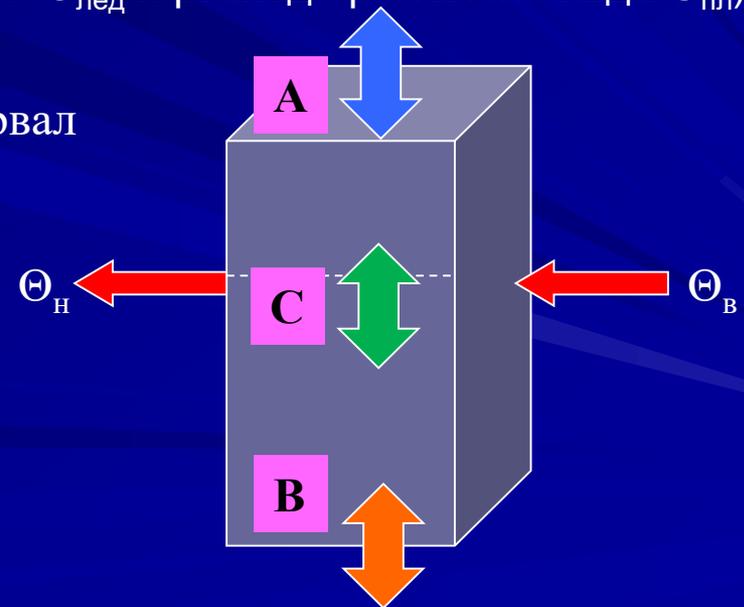
$$\Delta T = \frac{\Theta_{\text{в}} - \Theta_{\text{н}} + A + B + C}{c_p \rho V}$$

$V$  – объем воды, м<sup>3</sup>

$c_p$  – теплоемкость, Дж/(кг °С)

$\Delta T$  – изменение температуры (°С)

$\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>



# ***Главные причины изменения теплового состояния рек***

- радиационный баланс
- теплообмен с атмосферой
- разгрузка подземных вод
- теплообмен с дном
- фазовые переходы
- сброс подогретых вод
- регулирование стока

# Многолетняя изменчивость температуры воды

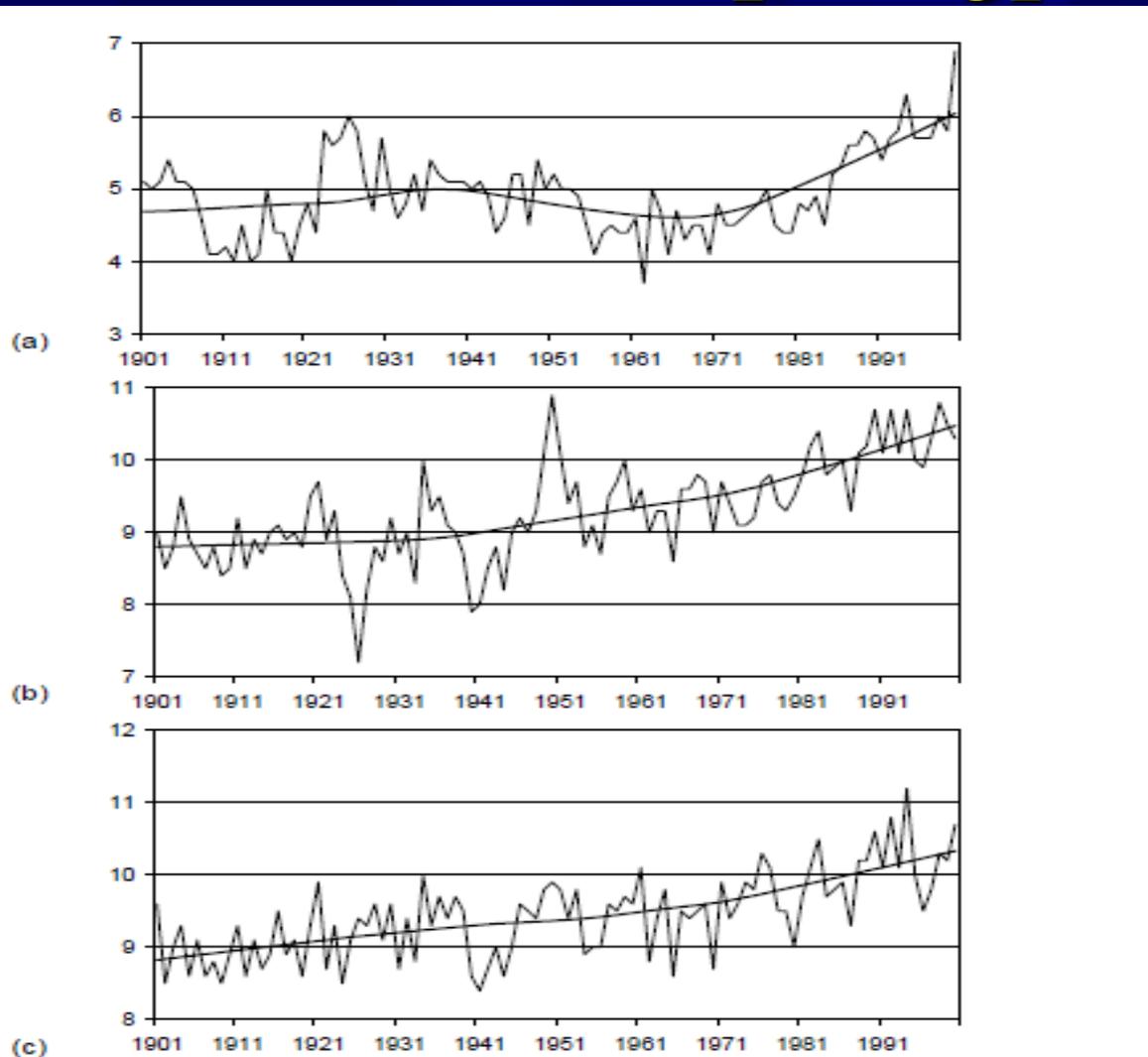
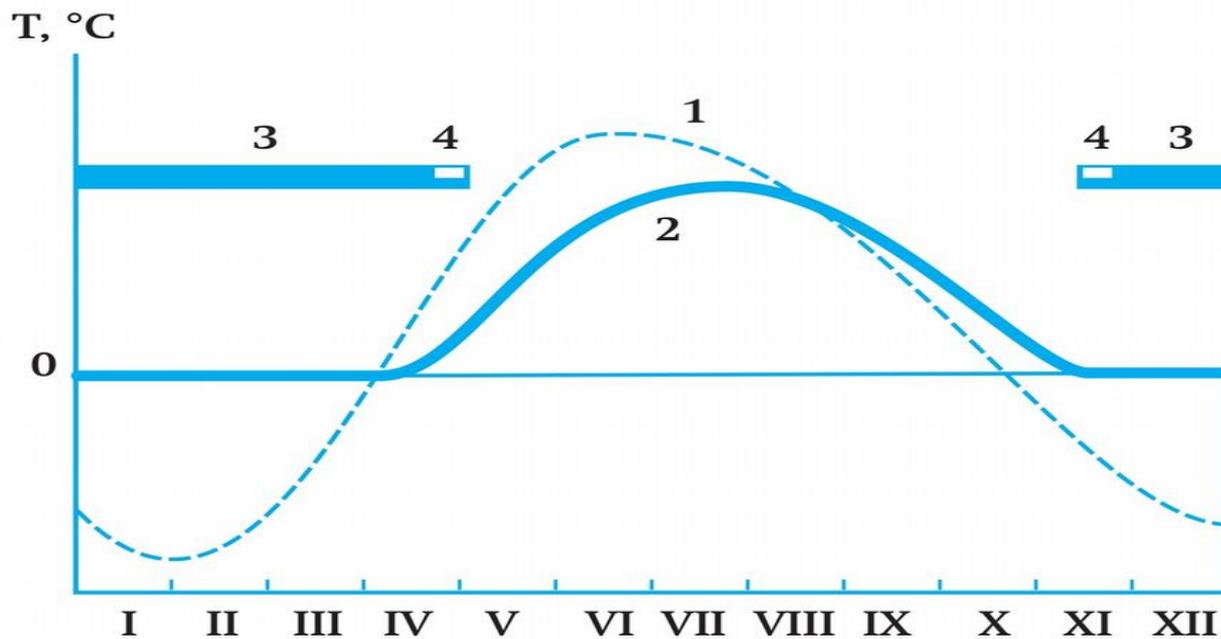


Fig. 2 Inter-annual variability in annual mean values of water temperature (°C): (a) Mittersill; (b) Wels; and (c) Ybbs. Bold lines represent trends fitted by LOWESS routines.

Река Дунай  
(Австрия)

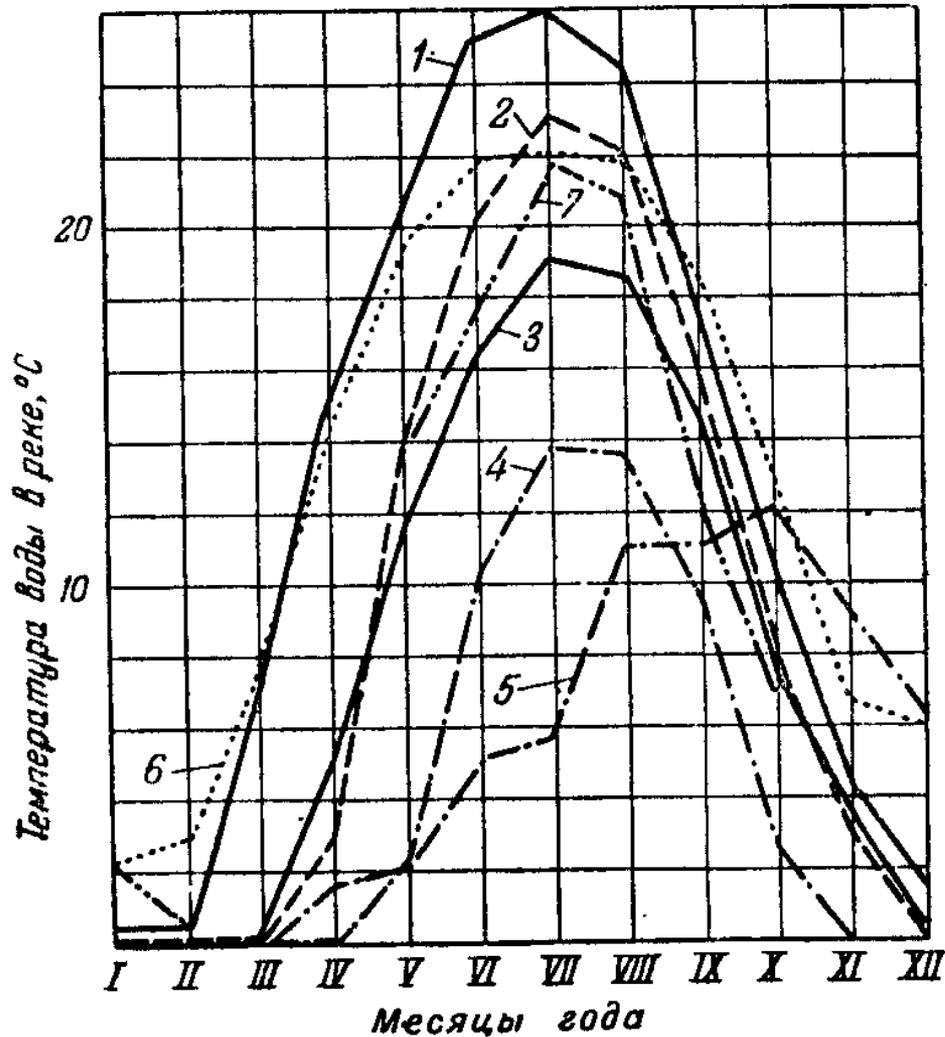
# Характерное изменение температуры воздуха (1) и воды (2) на реках центра ЕТР



3 - ледостав, 4 - ледоход

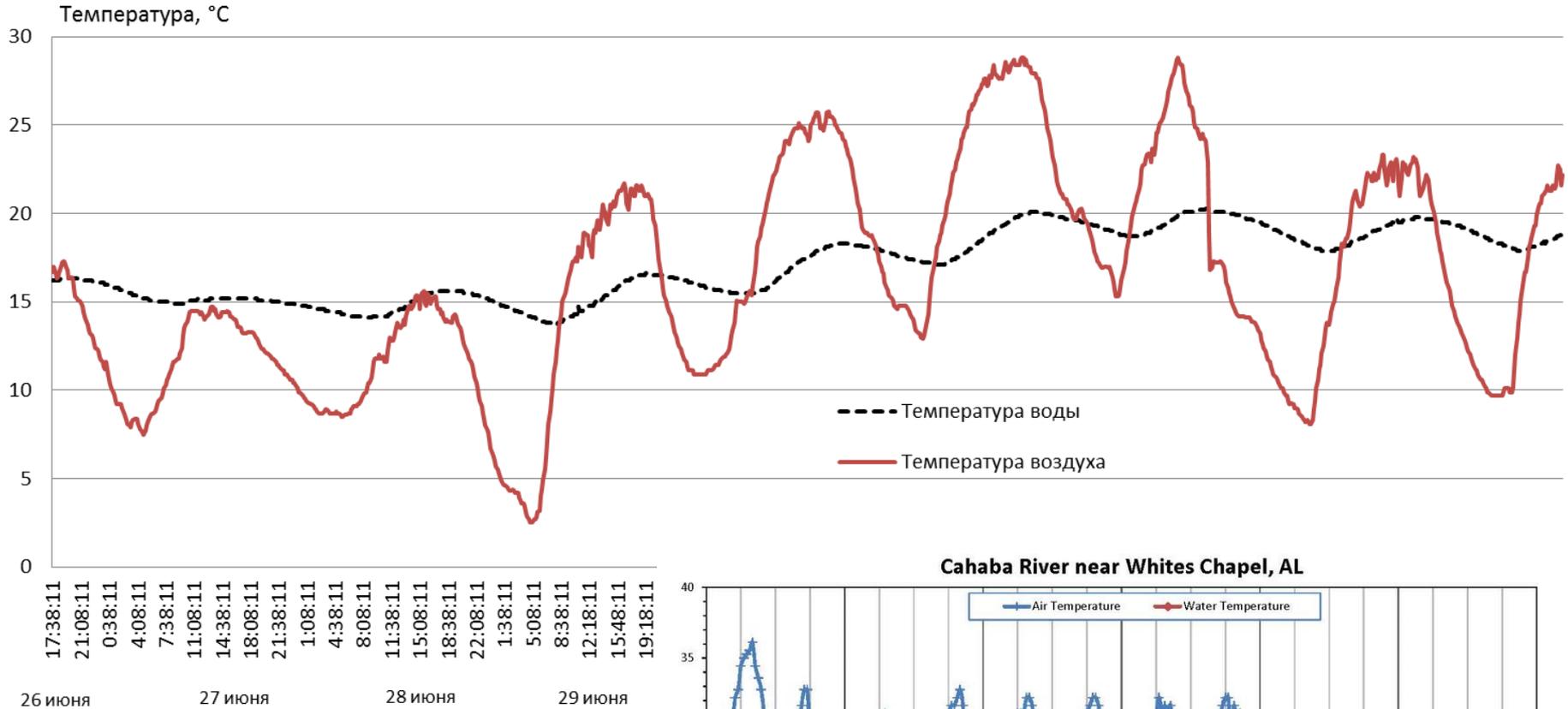
Зимой  $T \sim 0^{\circ}\text{C}$

# Изменение температуры воды для разных рек

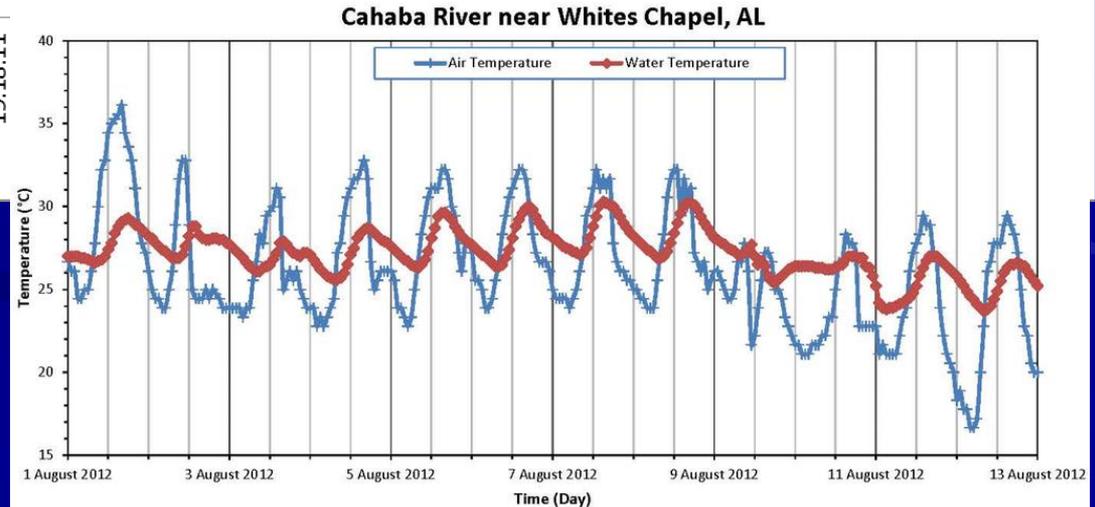


1 — Аму-Дарья у Ташкента (средние данные за 2 года); 2 — Волга у Саратова (2 года); 3 — Свислочь у Минска (4 года); 4 — Кола у Мурманска (1 год); 5 — Ангара (1931—1933 гг.); 6 — Сыр-Дарья (1910—1920 гг.); 7 — Волга у Ярославля (1929—1934 гг.).

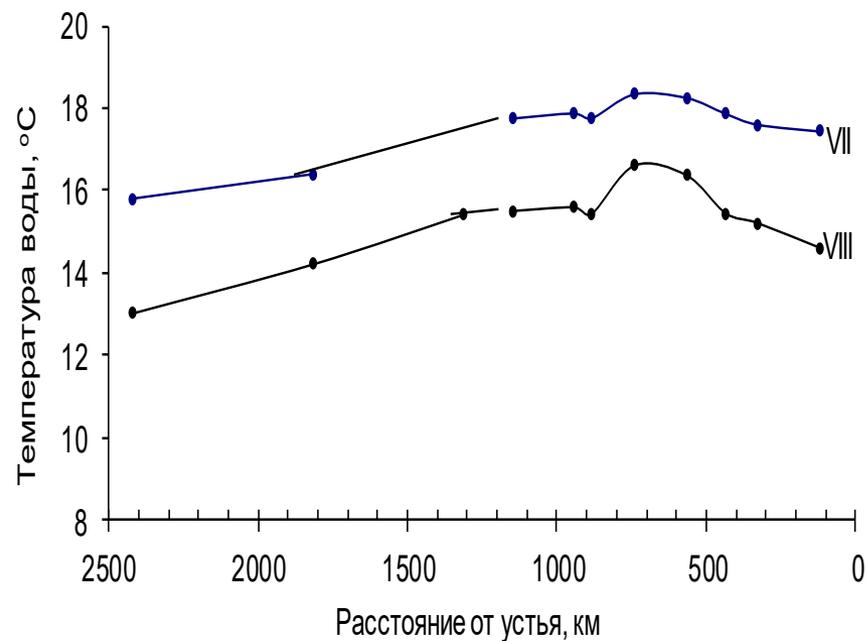
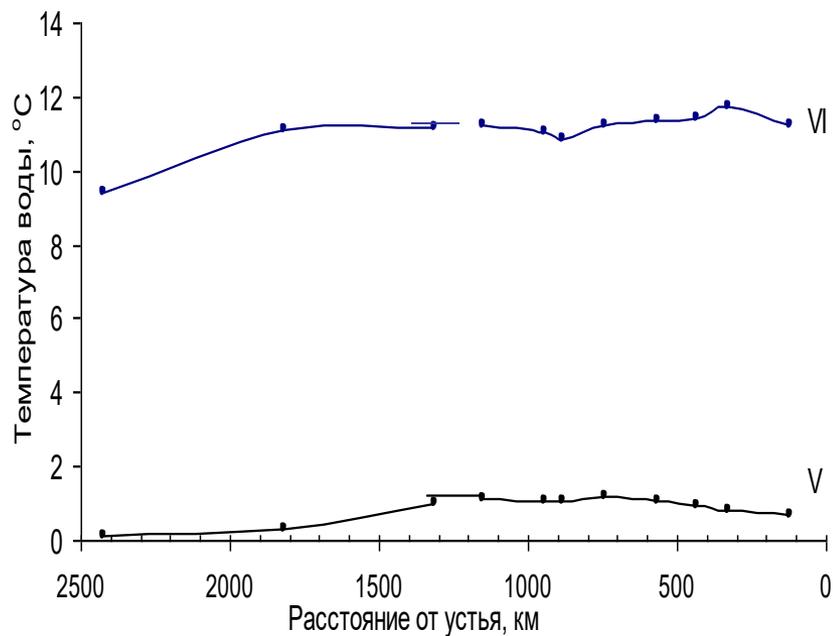
# Совмещенный график колебаний температуры воды в реке Протве и температуры воздуха по данным АМС Сатино за период с 26 июня по 4 июля 2014 г.



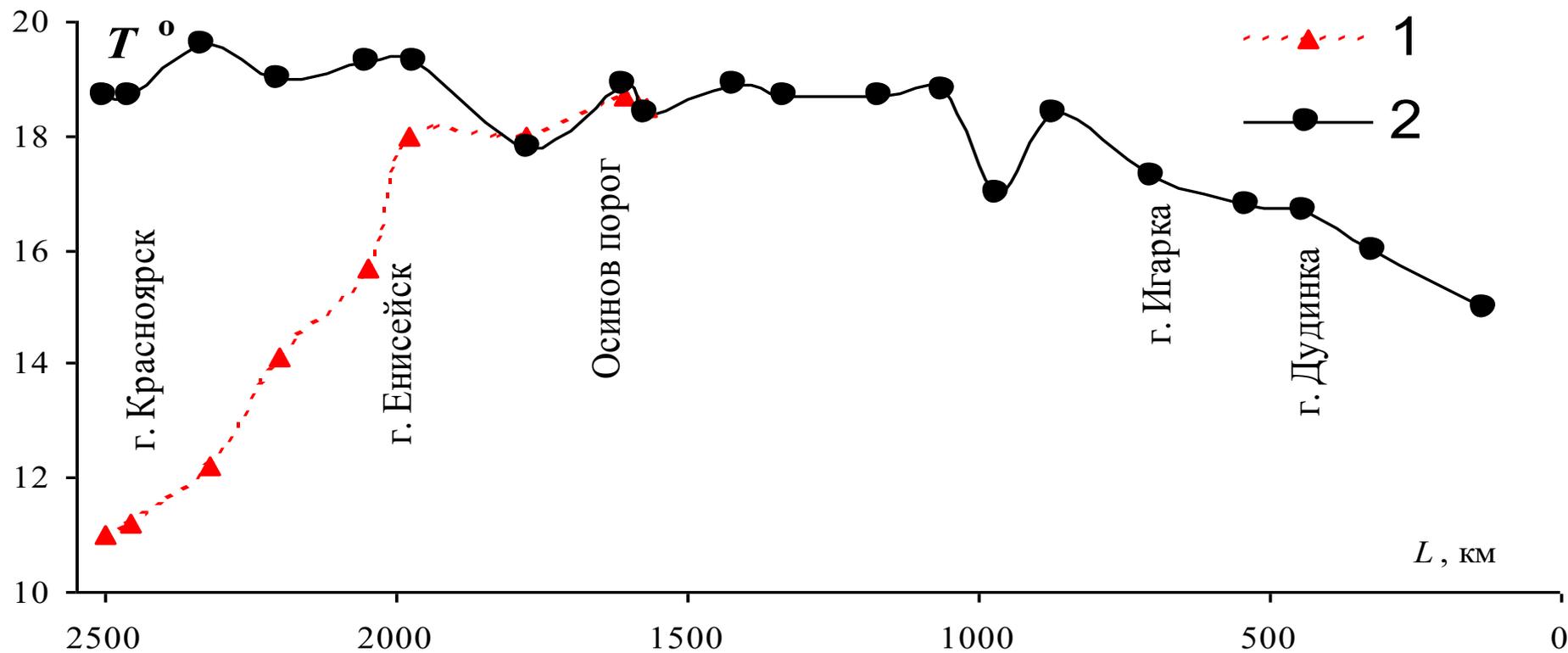
Кахаба — река в штате Алабама, США.



# Природное изменение температуры воды по длине р.Вилюй в теплый (июнь-август) период года



# Влияние водохранилищ на изменение температуры воды в р.Енисей (1 - современная и 2 - естественная ситуация)



## Изменение температуры воды по ширине некоторых рек ( $\Delta\theta_{п}$ )

Река–пункт	Фаза термического режима	Время суток	Изменение температуры воды по ширине реки $\Delta\theta_{п}$ , °C	Источник
Ока	нагревание	–	0,1 <sup>0</sup>	[Соколова, 1951]
	охлаждение	–	0,6 <sup>0</sup>	
	нагревание	утренние часы	$\leq 1,6$	
		дневные часы	$\leq 0,8$	
Аму-Дарья–кишлак Чатлы	нагревание	–	0,3–0,4	
	охлаждение	–	0,3	
	нагревание	утренние и вечерние часы	0,1–0,5	
		дневные часы	1,2–1,3	
Индигирка – пос.Воронцово	охлаждение	–	0,36	
Оленек – пост. Сухана	нагревание, охлаждение	–	0,28	
Лена – Солянка	нагревание, охлаждение	–	2,42	
Волга – устье Вазузы	нагревание	–	0,98	[Аппель и др., 1980]
Ока – д.Трегубово	нагревание	–	0,29	авторы
Ока – Калуга	нагревание	ночные часы	1,6	авторы

# Влияние сброса подогретых вод на тепловое состояние рек

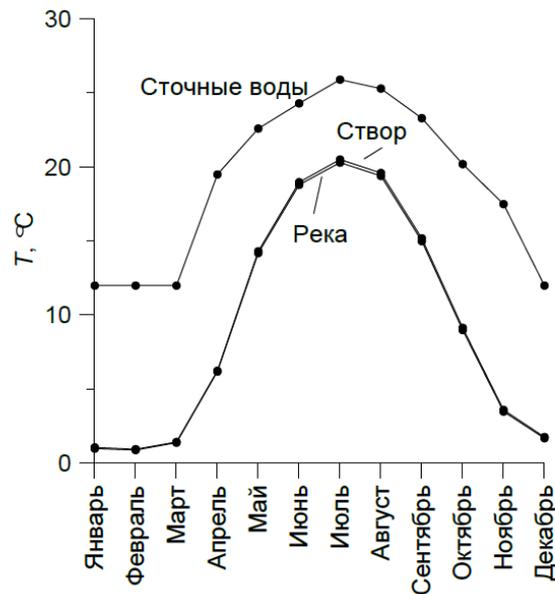
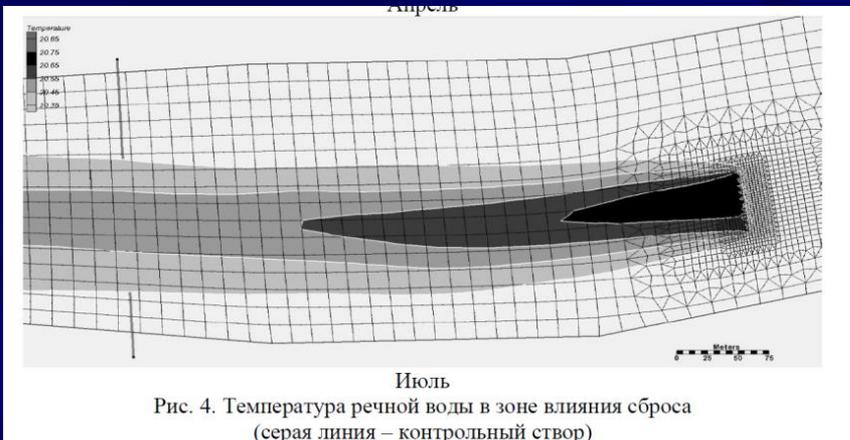


Рис. 5. График изменения температуры воды по месяцам в р. Неман, в контрольном створе (500 м) и насадках (сточные воды)

Количество теплоты, переносимой речными водами за какой-либо интервал времени, называется

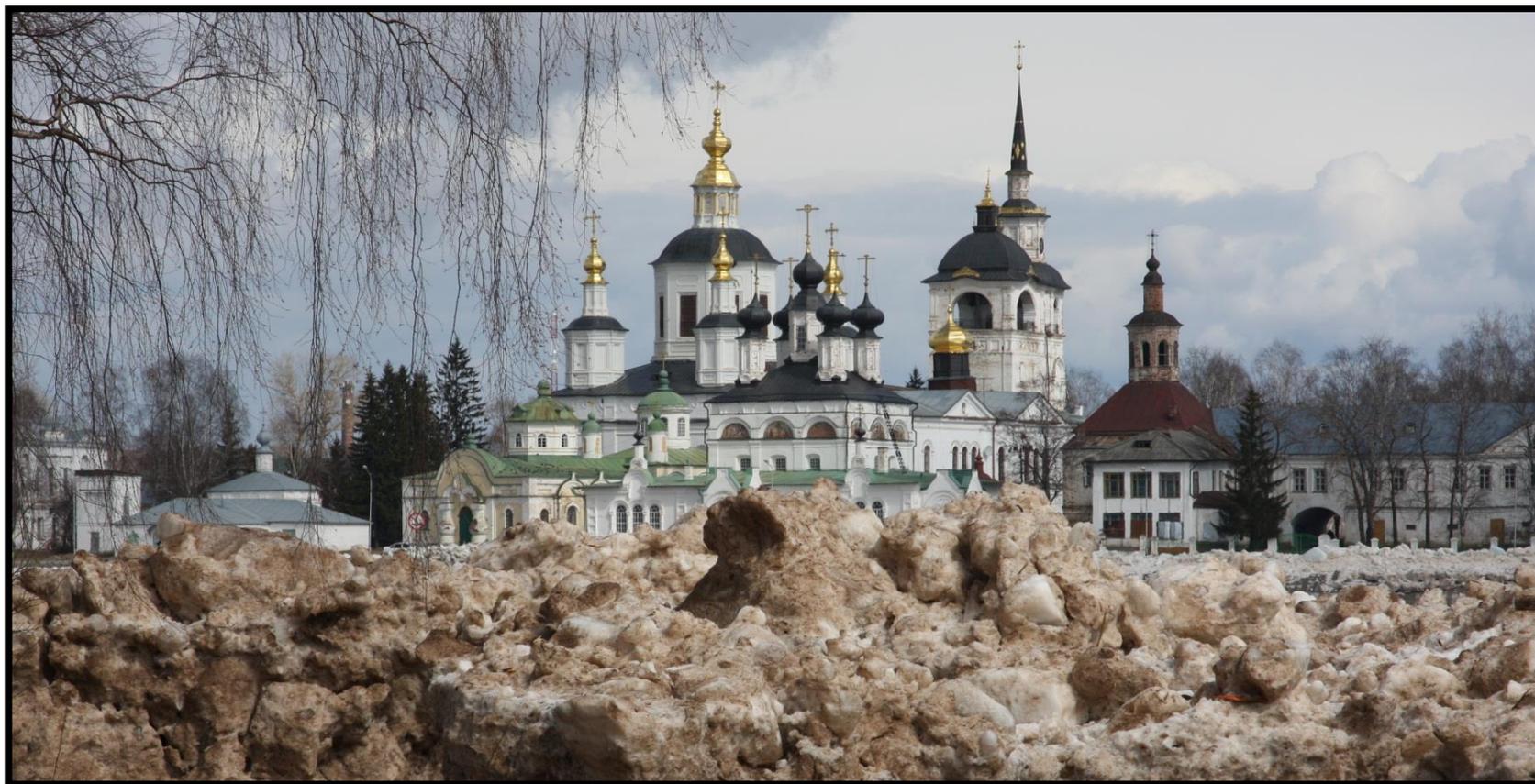
**тепловым стоком.**

$$W_T = c_p \rho T W$$

$$W = Q_0 \Delta t; W_T = f(T, Q_0)$$

где  $W_T$  — тепловой сток, Дж, за интервал времени  $\Delta t$ ,  $c_p$  — удельная теплоемкость воды,  $\rho$  — ее плотность,  $T$  — средняя температура воды,  $W$  — сток воды (в м<sup>3</sup>) за тот же интервал времени  $\Delta t$  ( $Q_0$  — расход воды).

# ***Ледовые явления на реках. Толщина льда.***



***Ледовый режим рек –***  
**пространственно-временная**  
**изменчивость ледовых явлений**



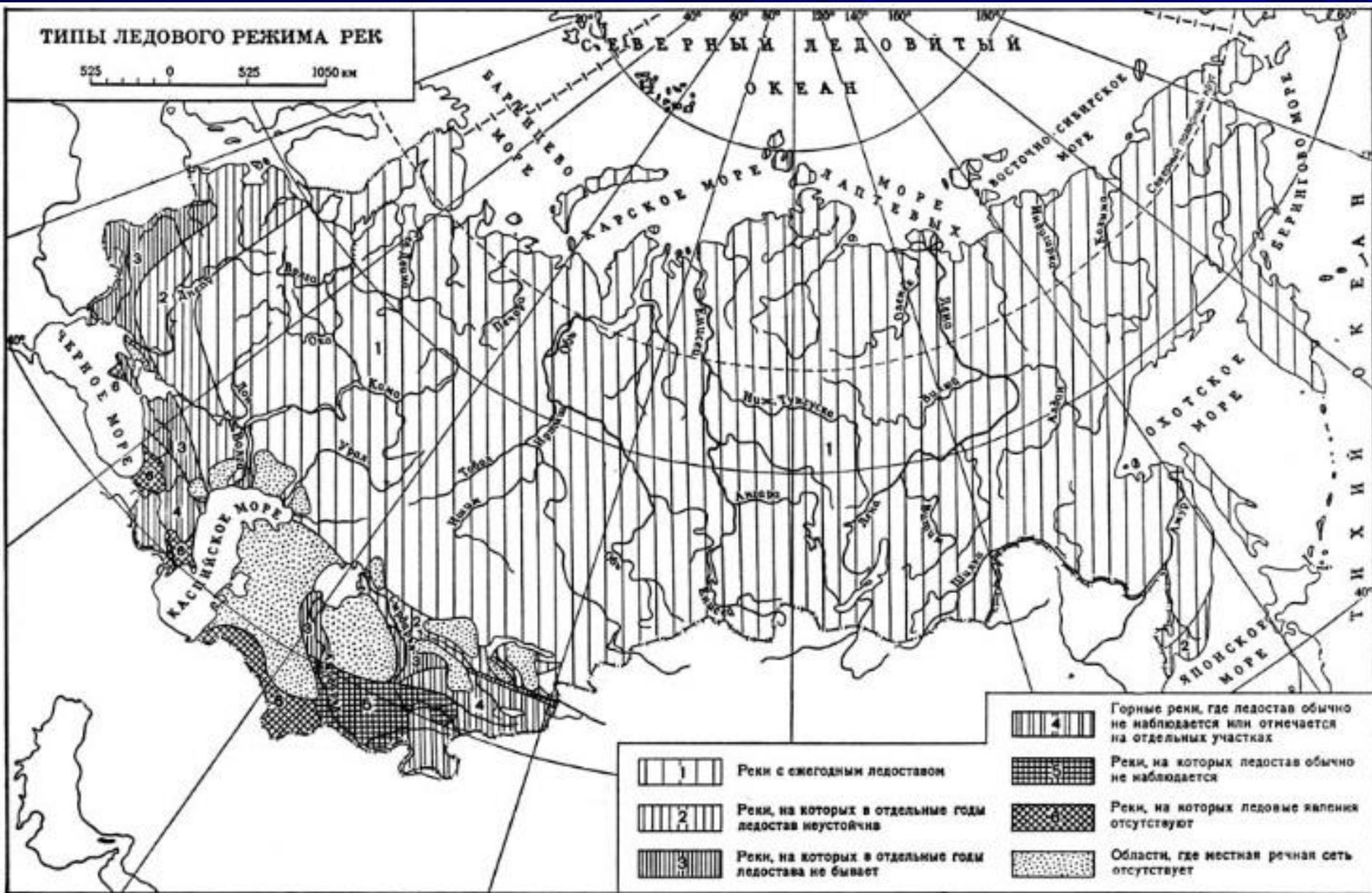
# *Типы рек по ледовому режиму*

- **замерзающие**
- **с неустойчивым ледоставом**
- **незамерзающие**



# ТИПЫ ЛЕДОВОГО РЕЖИМА РЕК

525 0 525 1050 км



- |                            |  |                                     |  |
|----------------------------|--|-------------------------------------|--|
| <p>1</p> <p>2</p> <p>3</p> | <p>Реки с ежегодным ледоставом</p> <p>Реки, на которых в отдельные годы ледостав неустойчив</p> <p>Реки, на которых в отдельные годы ледостава не бывает</p> | <p>4</p> <p>5</p> <p>6</p> <p>7</p> | <p>Горные реки, где ледостав обычно не наблюдается или отмечается на отдельных участках</p> <p>Реки, на которых ледостав обычно не наблюдается</p> <p>Реки, на которых ледовые явления отсутствуют</p> <p>Области, где местная речная сеть отсутствует</p> |
|----------------------------|--|-------------------------------------|--|

## ***Зональные особенности ледового режима рек***

- в условиях умеренного климата обычно замерзают
- в субтропиках замерзают очень редко
- в зоне тропического климата не замерзают

# *Характерные периоды ледового режима*

- замерзания (осенних ледовых явлений)
- ледостава
- вскрытия (весенних ледовых явлений)



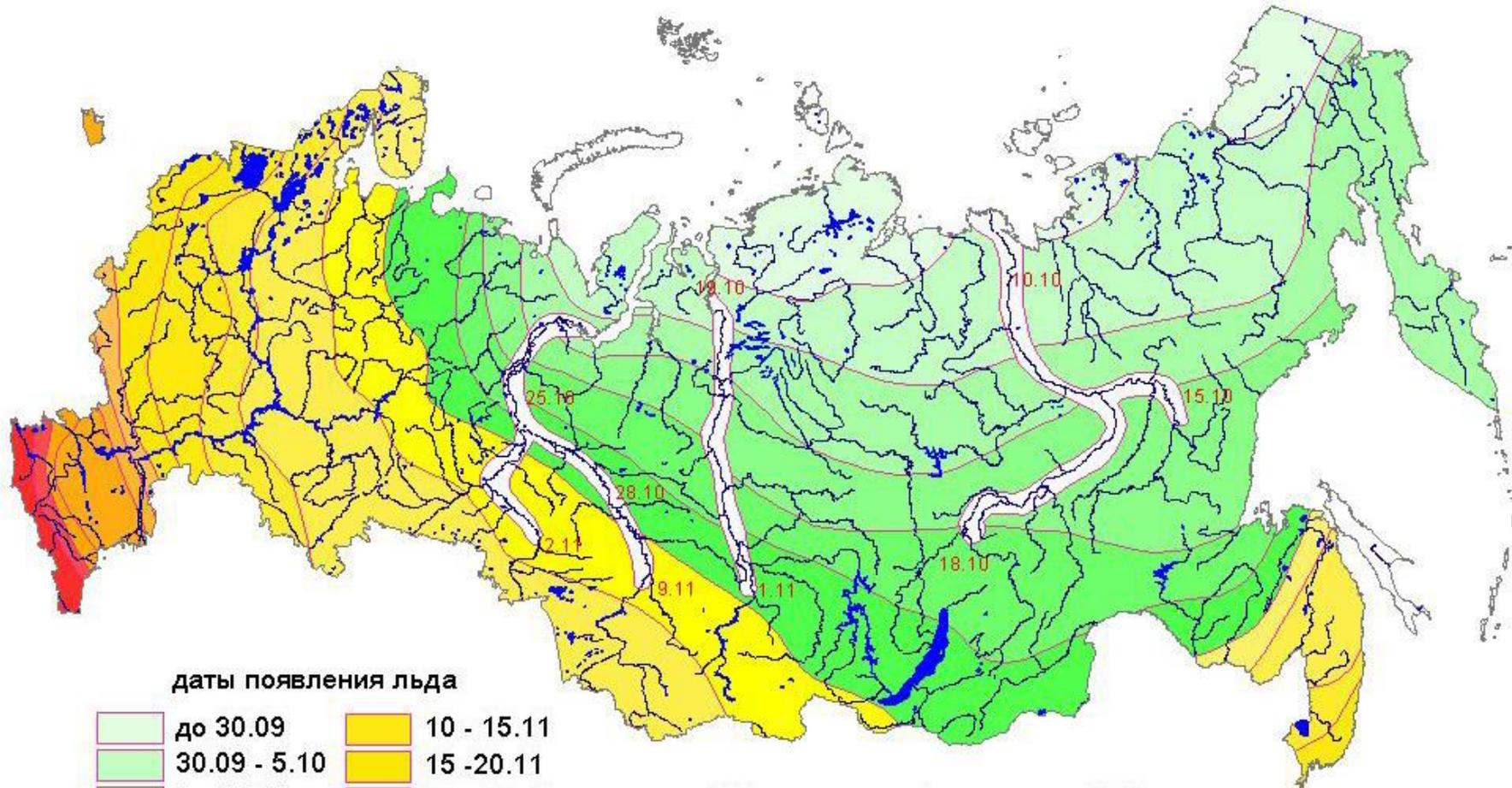
# Осенние ледовые явления

*Начало периода замерзания рек – переход температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$   
охлаждение воды до  $T \sim 0^{\circ}\text{C}$*

- сало, снежура
- забереги
- внутриводный лед
- донный лед
- шуга
- осенний ледоход и шугоход
- зажоры



# Дата появления льда



даты появления льда

до 30.09	10 - 15.11
30.09 - 5.10	15 - 20.11
5 - 10.10	20 - 25.11
10 - 15.10	25 - 30.11
15 - 20.10	30.11 - 5.12
20 - 25.10	5 - 10.12
25 - 31.10	10 - 15.12
31.10 - 5.11	после 15.12
5 - 10.11	

1000 0 1000 км

# *Забереги*



# ***Внутриводный лед***



Сылва, осень 2019



# Замерзшая шуга



Шугоход



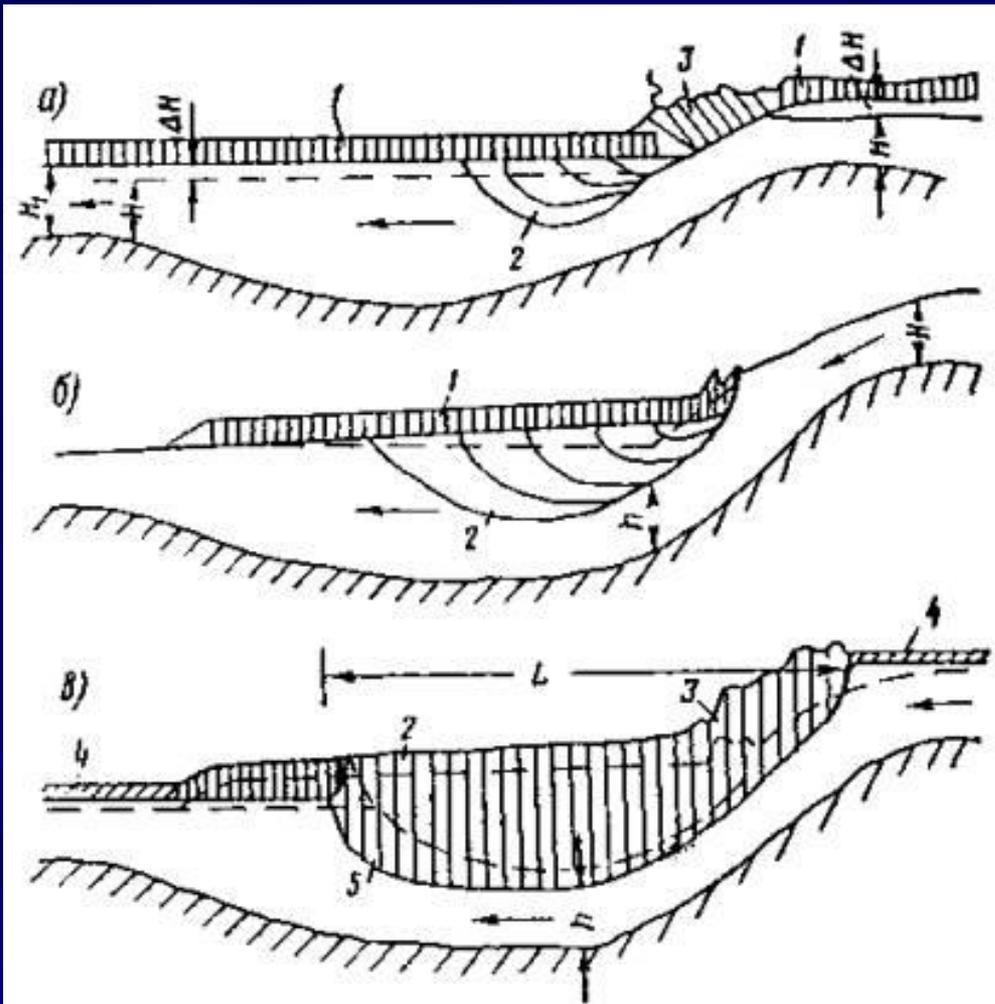
# ***Блинчатый лед***





Лед на Волге

# Зажоры льда



# *Механизмы образования ледяного покрова*

- увеличение числа льдин и уменьшение скорости их движения
- смыкание заберегов



Moving  
Ice



Ice Front



Border ice

Stationary ice

Border ice

# Ледостав



*Река Ишим, Астана*





# ***Полынья***



$$h_{\text{л}} = k \left[ \sum (-\Theta_{\text{возд}}) \right]^n$$

## Толщина льда

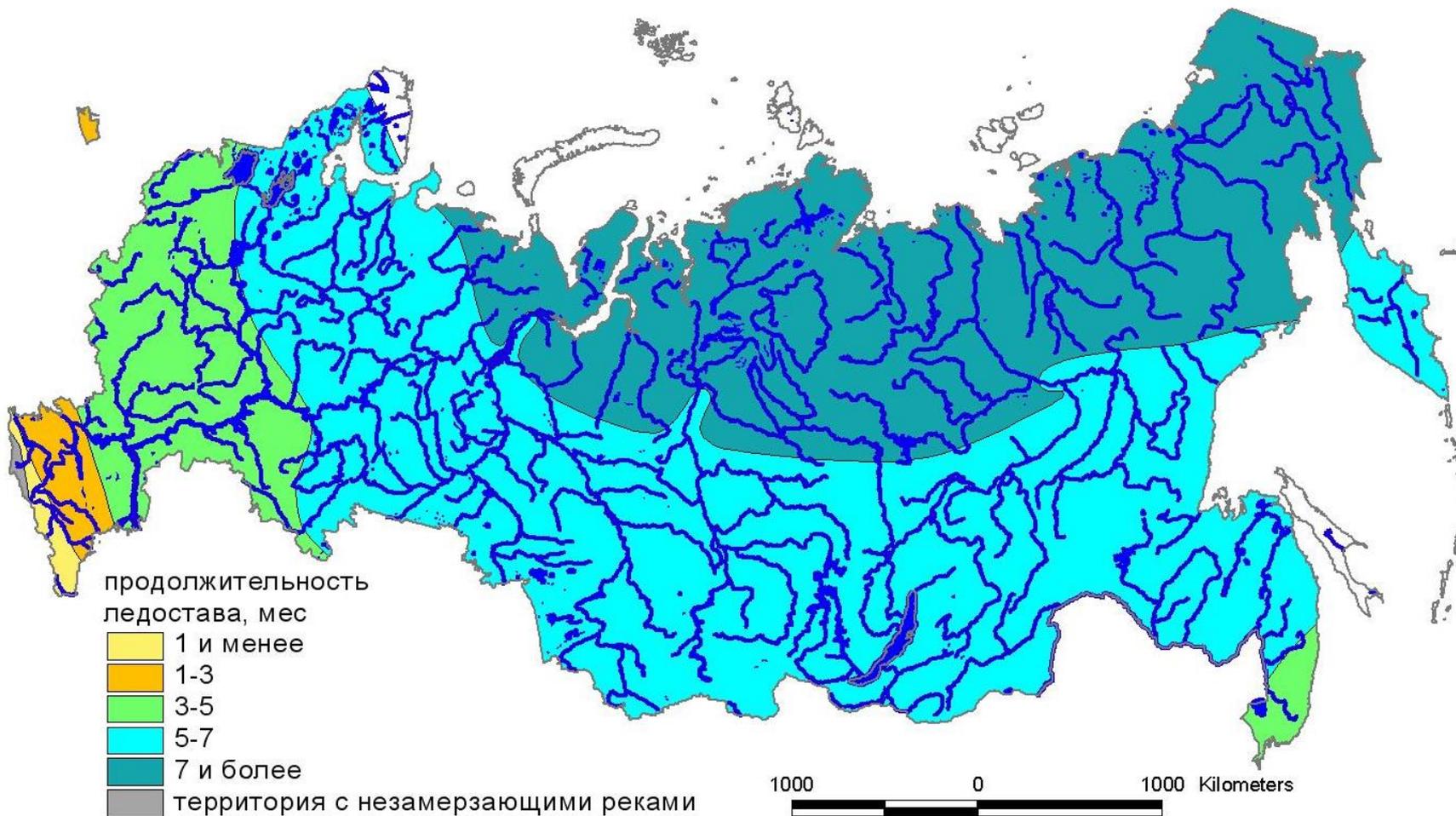
$$h_{\text{л}} = k \left[ \sum (-\Theta_{\text{возд}}) \right]^n$$

■ формула Ф.И. Быдина

$$d_{\text{л}} = k \sqrt{|\sum(\Theta^-)|},$$

$\Theta^-$  – средние суточные ( $k = 2$ ) или  
месячные ( $k = 11$ ) отрицательные  
температуры воздуха

# Продолжительность ледостава



# Изменение толщины льда

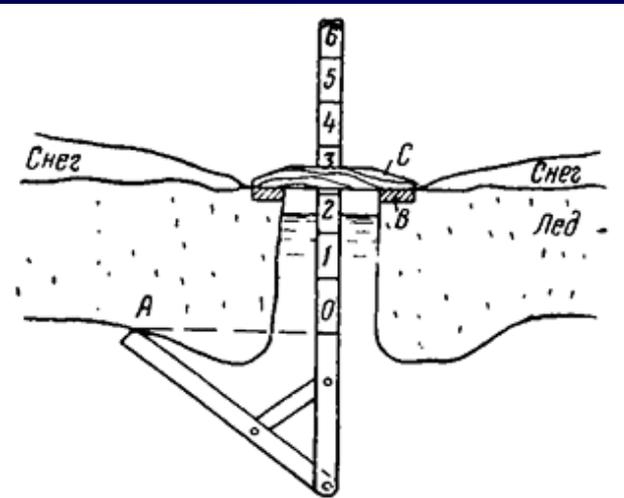
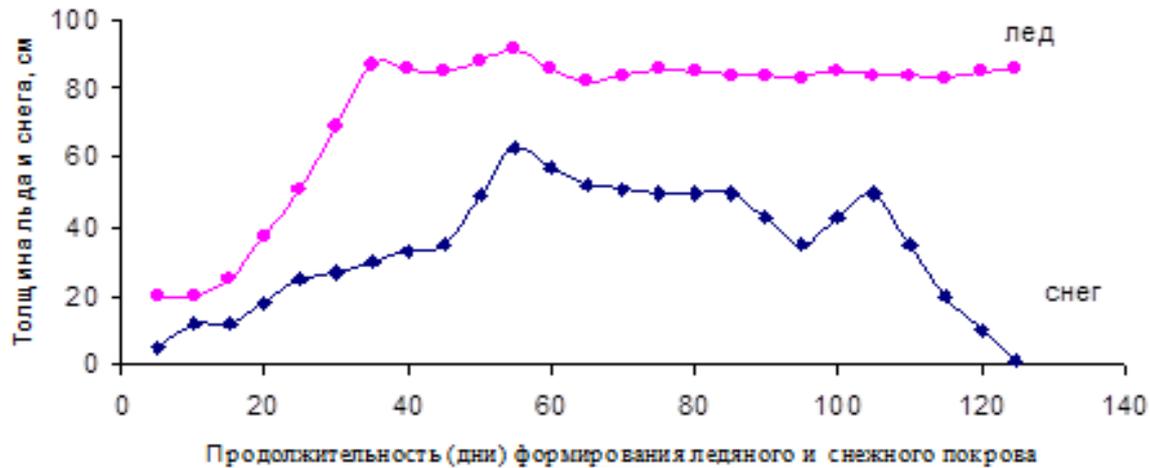
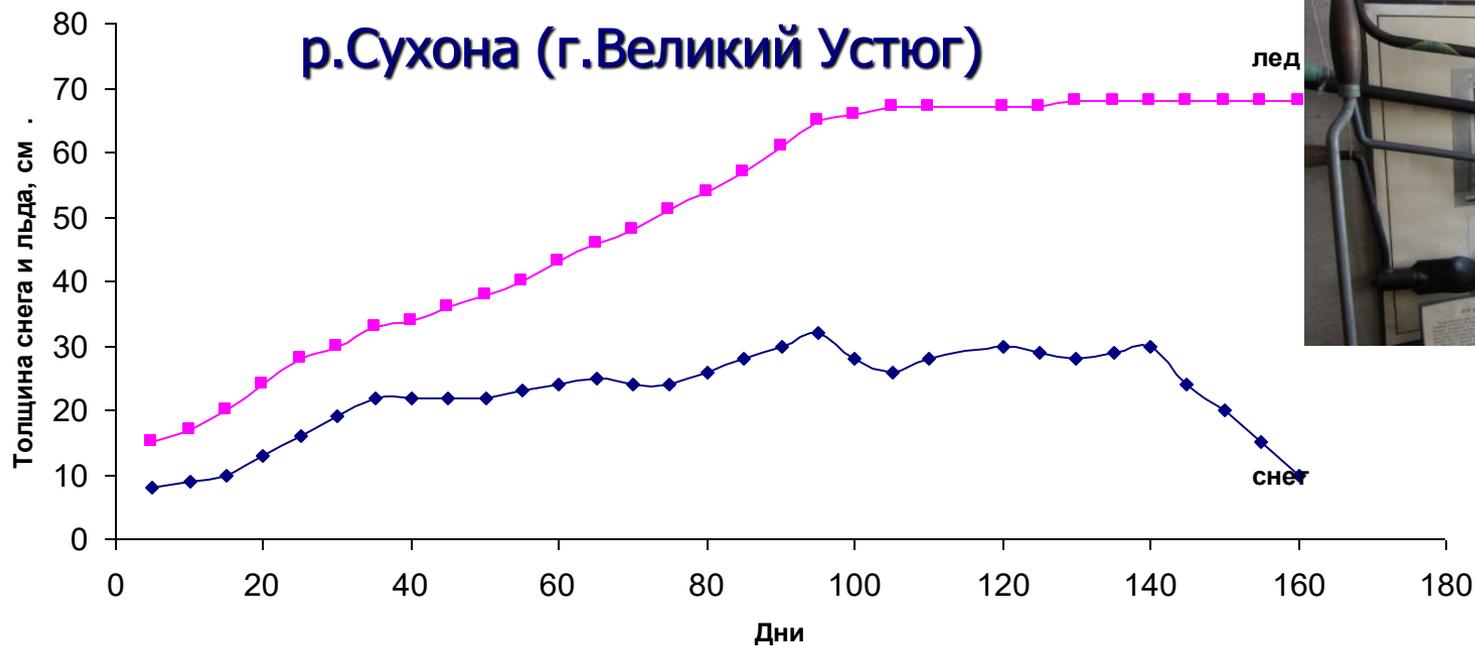


Рис. 66. Рейка для измерения толщины льда



## р.Сухона (г.Великий Устюг)



***Наледь*** – лед,  
образовавшийся при  
замерзании  
выклинивающихся в  
русла рек подземных  
или речных вод







## ***Факторы вскрытия рек***

- поступление и поглощение солнечной радиации
- теплообмен с атмосферой
- влияние талой воды
- механическое воздействие стока

# *Весенние ледовые явления*

- закраины
- подвижки льда
- весенний ледоход
- заторы

# ***Закраины на р.Амур***

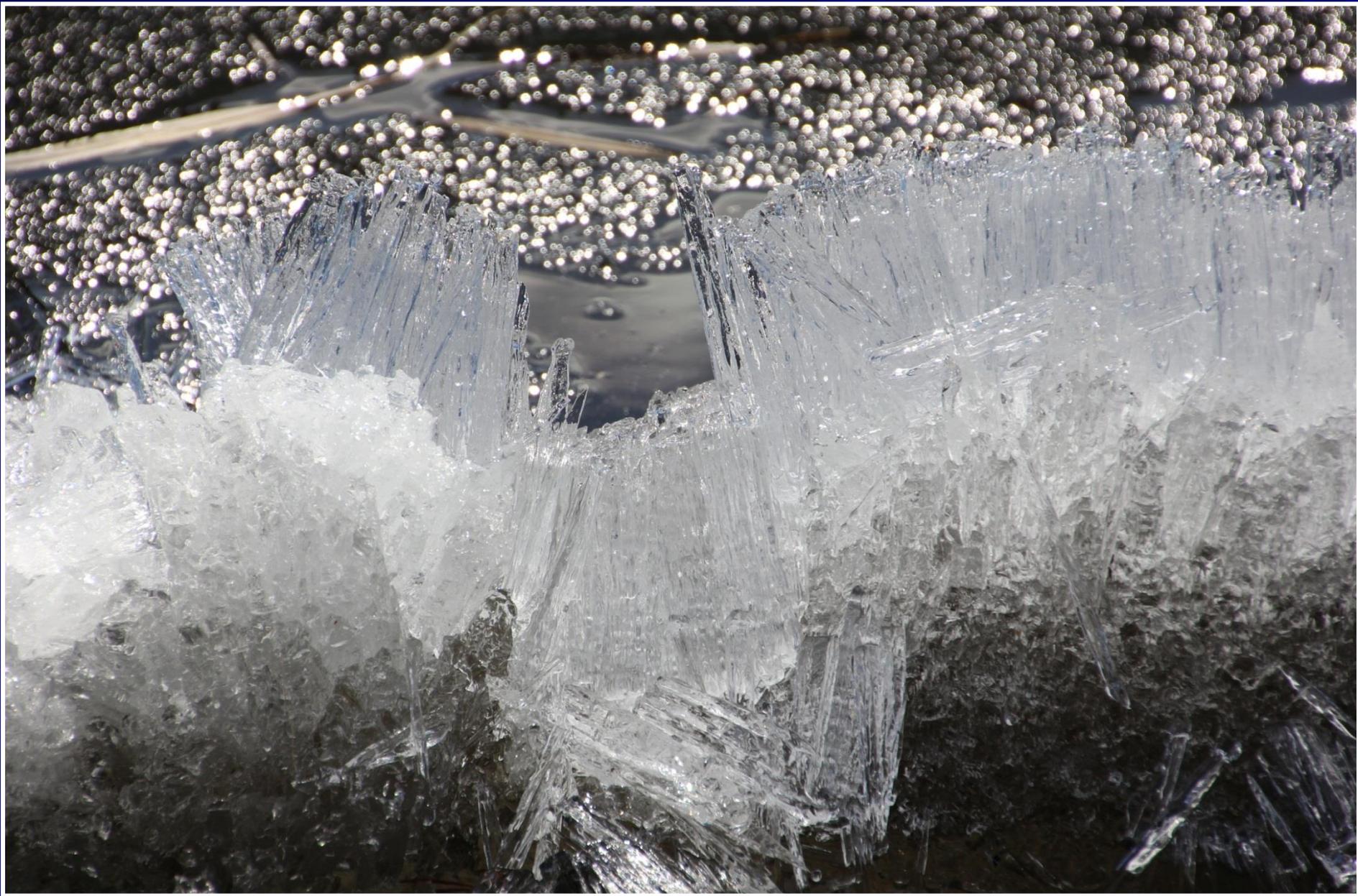


# Растрескивание льда при подвижках

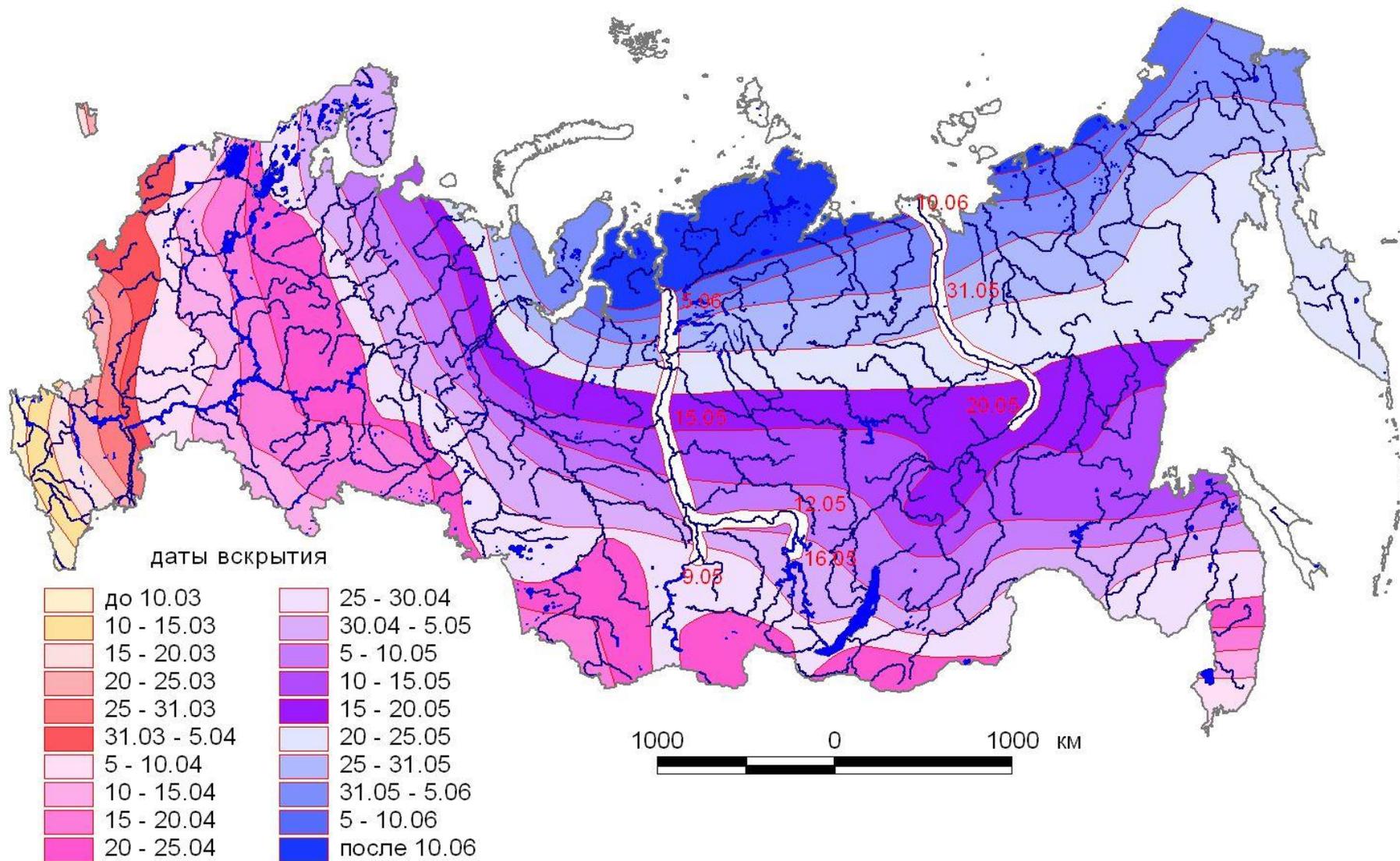


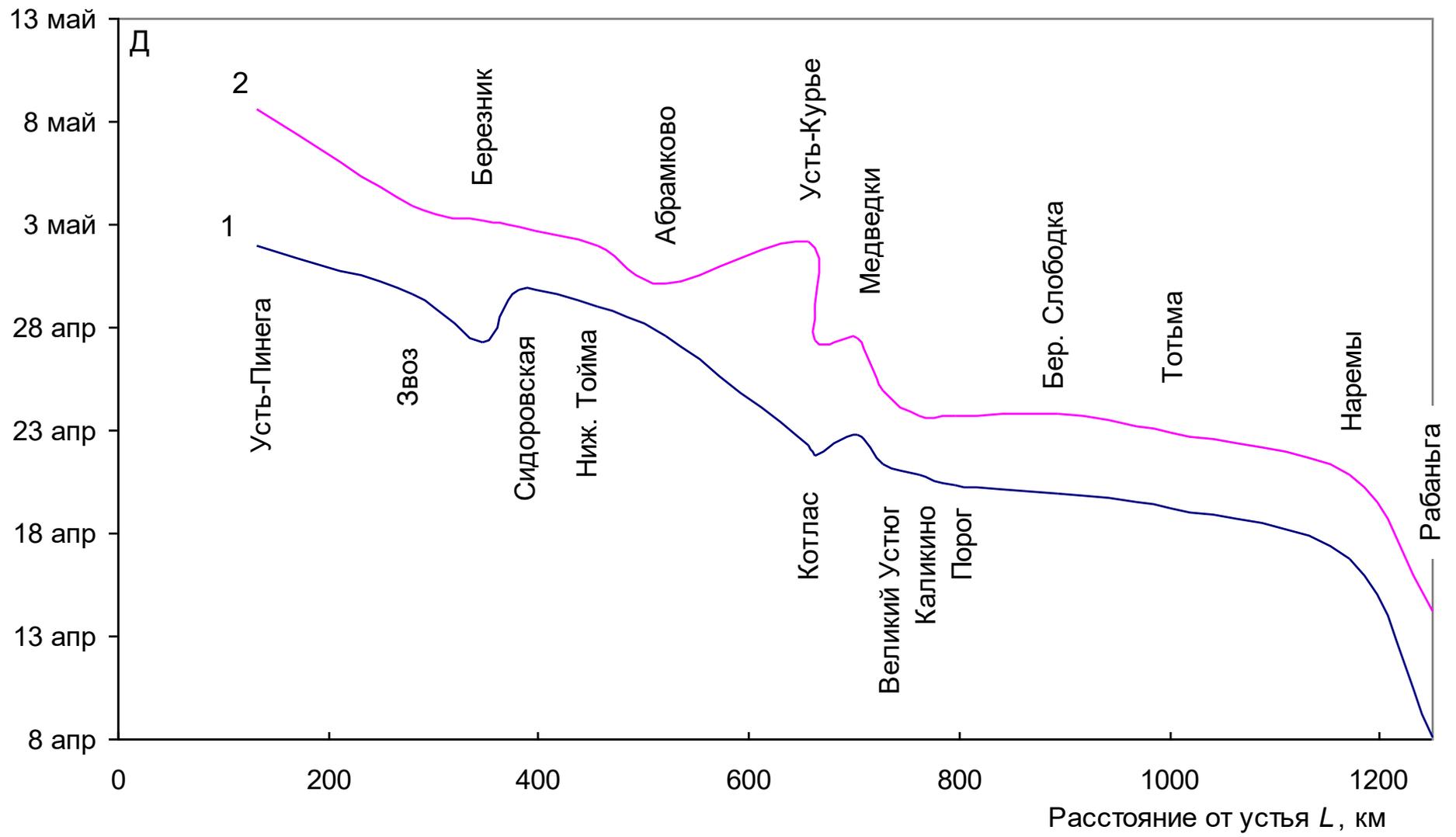






# Дата вскрытия рек





**Средние даты вскрытия (1) и очищения ото льда (2) участков рр. Северная Двина и Сухона**

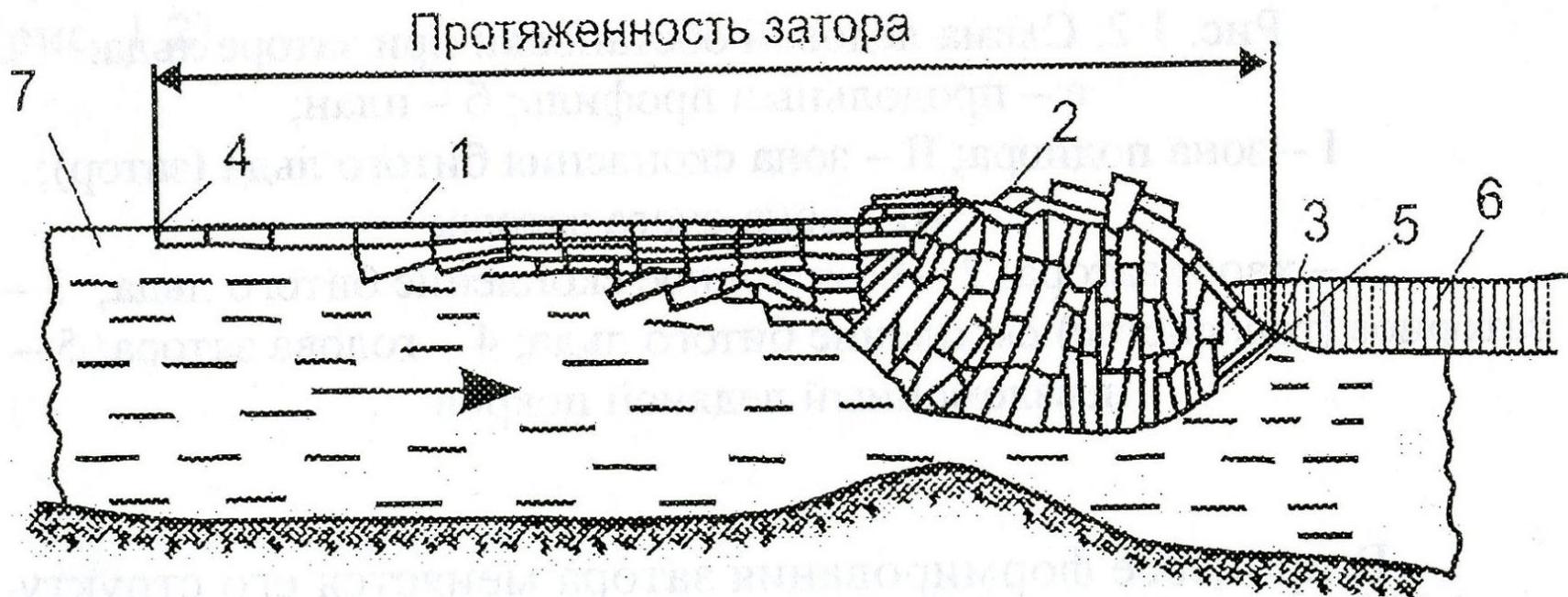
# *Ледоход на Волге*



# *Ледоход на Сухоне*



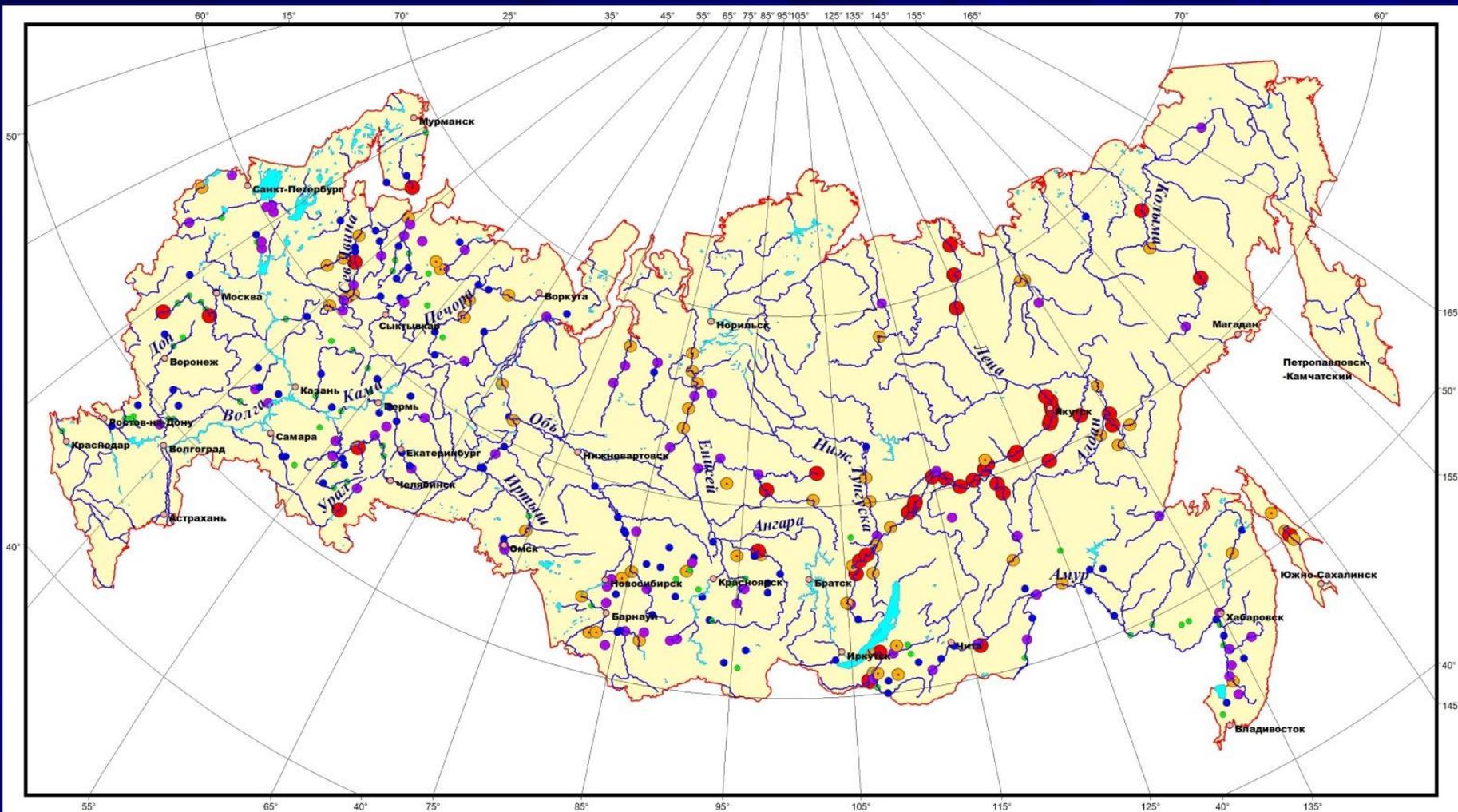
# Продольный разрез затора льда



1. Продольный разрез затора

1 – хвостовая часть (хвост) затора; 2 – головная часть (голова) затора; 3 – нижняя кромка (нижняя граница) затора; 4 – верхняя кромка (верхняя граница) затора; 5 – замок затора; 6 – невоскрывшийся ледостав; 7 – открытая вода

# Повторяемость заторов льда



1000 0 1000 2000 3000 Kilometers

Повторяемость заторов, %:

- 0 - 20
- 20 - 40
- 40 - 60
- 60 - 80
- 80 - 100

