

Гидродинамическое моделирование гидрофизических полей в дельте р. Лена

Шлычков В.А.

ИВЭП СО РАН

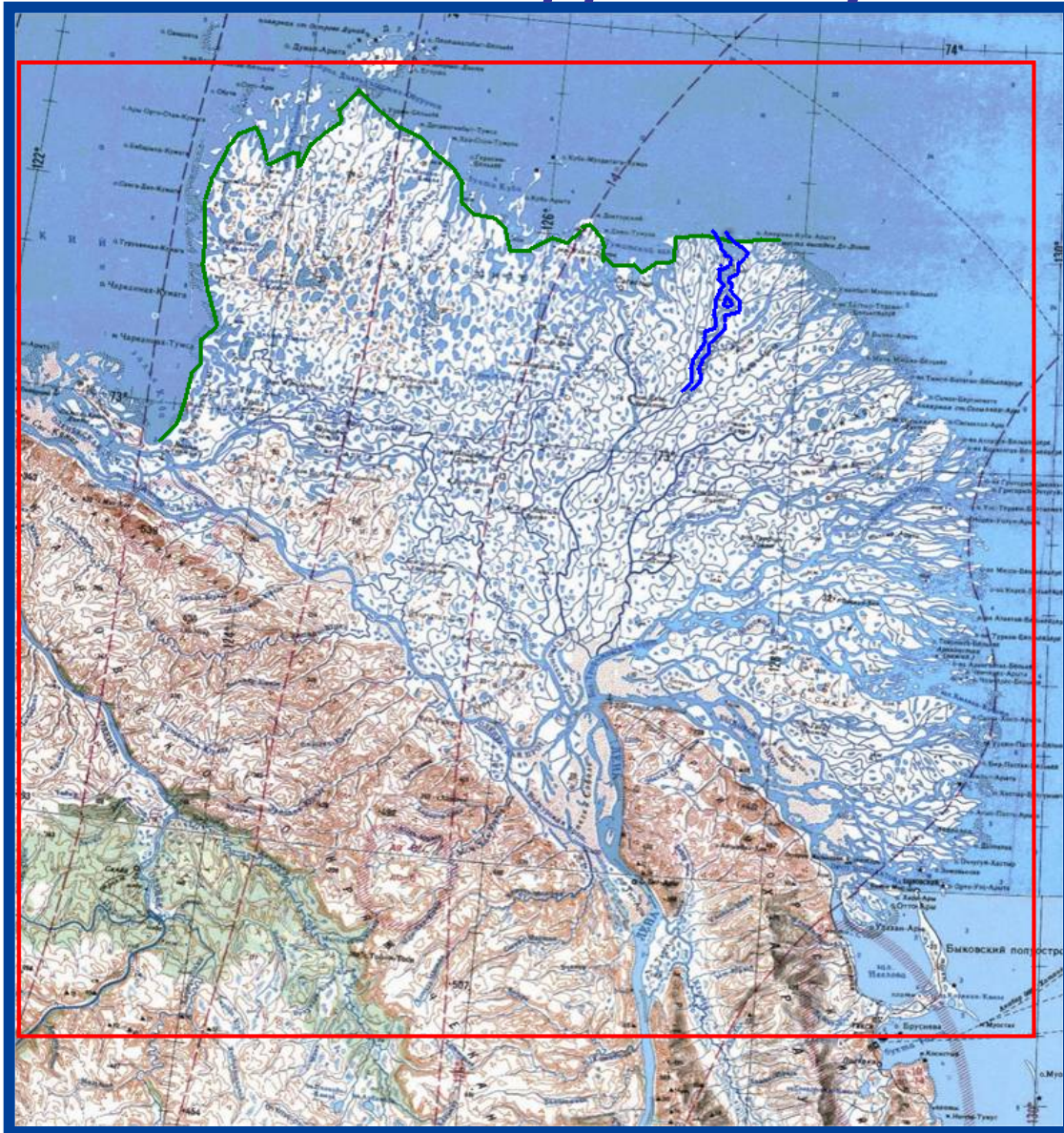
Крылова А.И.

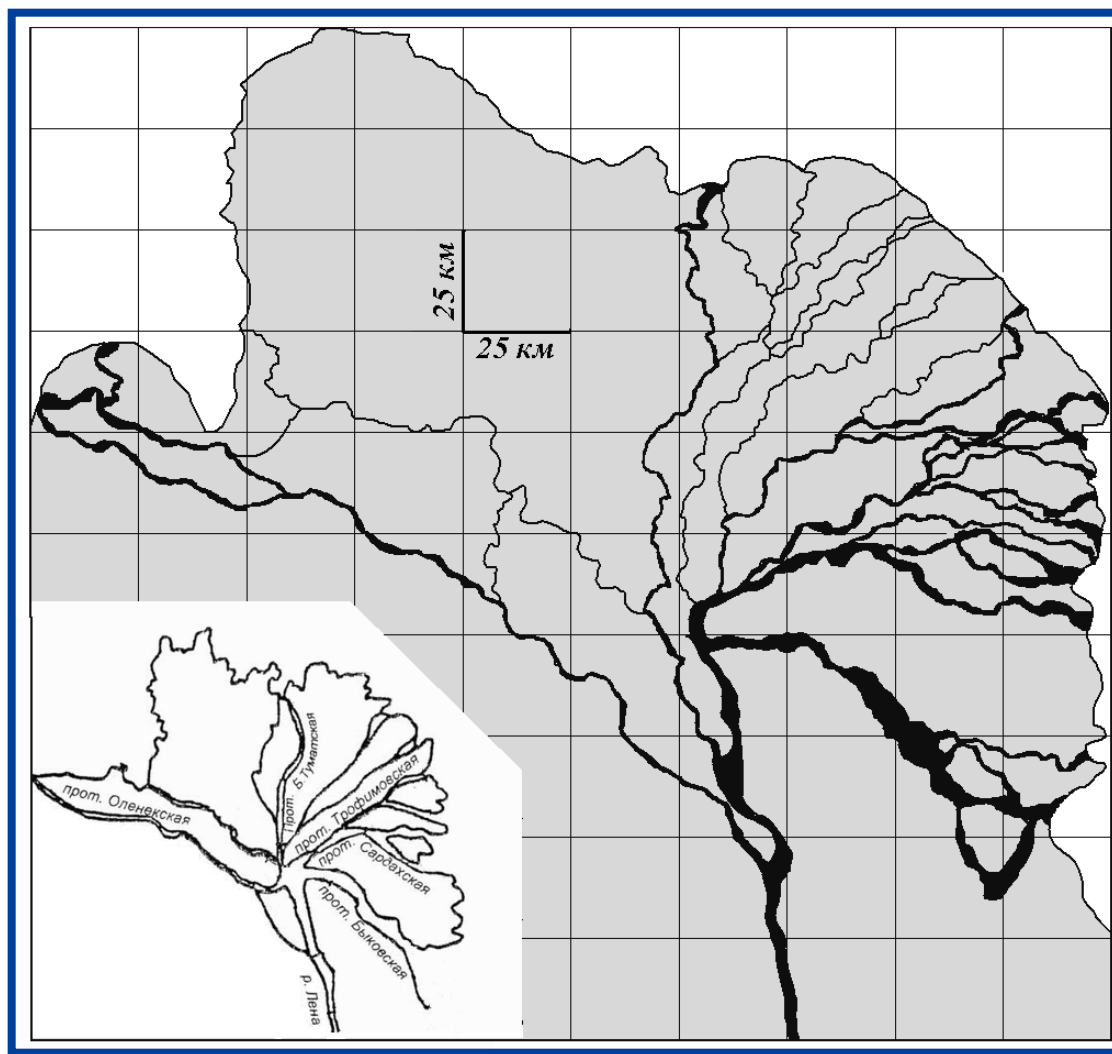
ИВМиМГ СО РАН

CITES-2015

г. Томск, 27-30 июня 2015 г.

Дельта реки Лена





*Рис.1. Структура водотоков дельты р. Лены, учтенных в цифровой модели рельефа.
На врезке – схема расположения основных проток дельты*

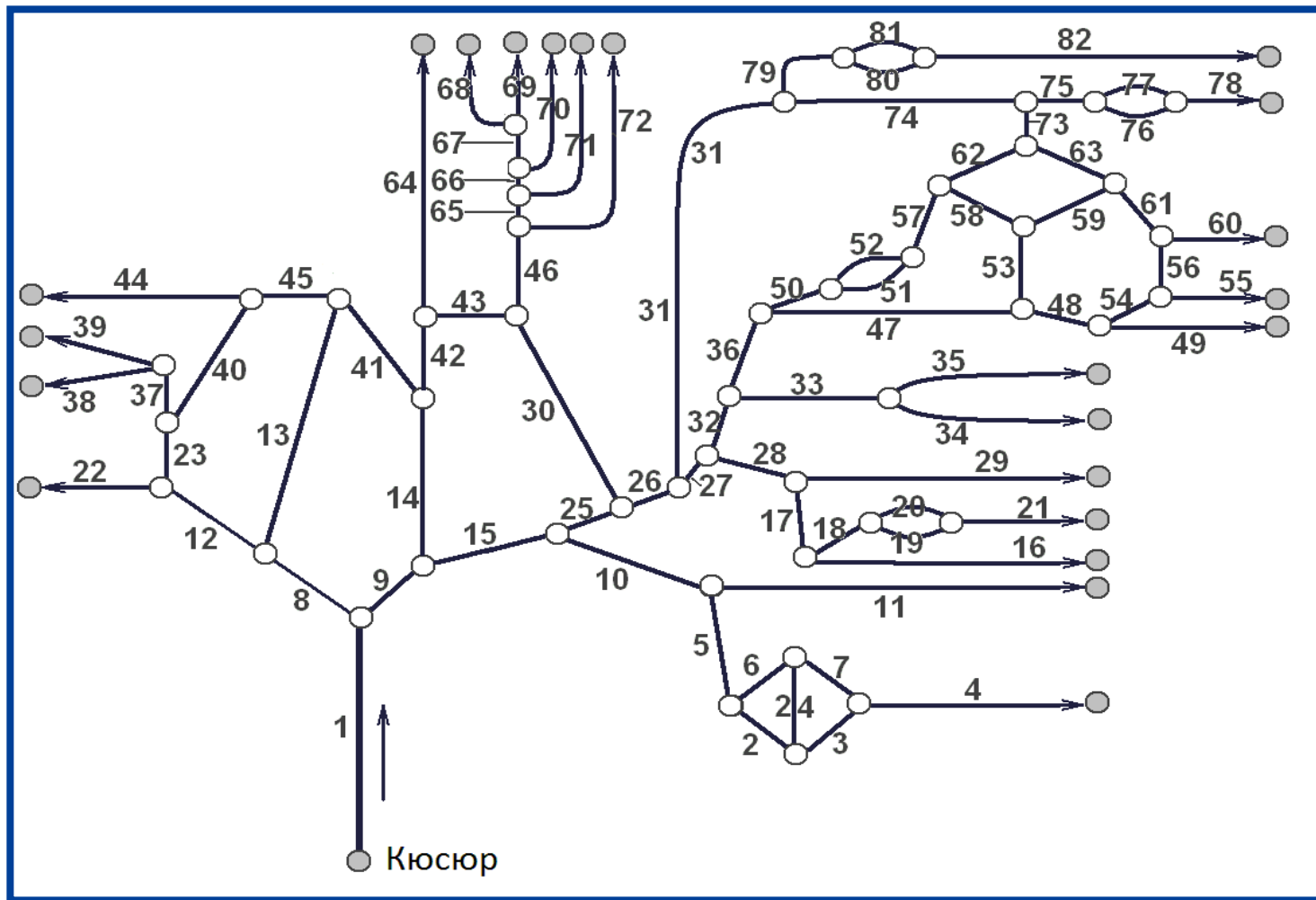


Рис. 2. Схематизация русловой сети дельты реки Лена в виде одномерного графа. Сплошные линии – речные участки, кружки – узлы деления потока и внешние границы. Цифры у ребер - нумерация участков русла

ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЛОЖНОРАЗВЕТВЛЕННОГО УСТЬЯ Р. ЛЕНА

Уравнения Сен-Венана в одномерном приближении

$$\frac{\partial q_k}{\partial t} + \frac{\partial u_k q_k}{\partial s_k} = -g \omega_k \frac{\partial \zeta_k}{\partial s_k} - \frac{g}{C_s^2 h_k} |u_k| q_k + \frac{b_k \tau_k}{\rho}, \text{ уравнение движения}$$

$$\frac{\partial \omega_k}{\partial t} + \frac{\partial q_k}{\partial s_k} = 0, \quad k = 1, \dots, 82, \text{ уравнение неразрывности}$$

где S - продольная координата вдоль русла,

$q = u\omega$ - расход воды, u - средняя по сечению скорость,

$\omega = \omega(s, \zeta)$ - площадь живого сечения в зависимости от уровня свободной поверхности в русле,

h - глубина потока, C - коэффициент Шези,

$b = \left. \frac{\partial \omega}{\partial \zeta} \right|_{\zeta = \text{const}}$ - ширина свободной поверхности,

ζ - уровень свободной поверхности воды

Граничные условия

на входной границе: $q_1 = \bar{q}_1(t)$,

где $\bar{q}_1(t)$ - динамика расходов по данным наблюдений;

на устьевом взморье: $\xi_k = \xi_0^{(k)}$,

т.е. совпадение уровней речных рукавов с уровнем моря;

Условия сопряжения для внутренних узлов дельты:

требование баланса расходов и связь уровней смежных участков для трех сходящихся потоков в точке ребра

$$q_{k_1} = q_{k_2} + q_{k_3}, \quad \xi_{k_1} = \xi_{k_2} = \xi_{k_3}$$

Конвективно-диффузионное уравнение переноса тепла

$$\frac{\partial \omega_k T_k}{\partial t} + \frac{\partial q_k T_k}{\partial s_k} = \frac{\partial}{\partial s_k} \omega_k E_k \frac{\partial T_k}{\partial s_k} + \frac{b_k \Phi_k}{\rho c_p}, \quad k=1, \dots, 82$$

где b_k - ширина свободной поверхности ,

E_k - коэффициент продольной дисперсии ,

$\Phi = \Phi_s - \Phi_b - \Phi_h - \Phi_e$ - суммарный поток тепла ,

c_p - теплоемкость воды ,

ρ - плотность воды .

T - искомое поле температуры

Граничные условия:

на входной границе: $T_1 = \bar{T}_1(t)$

где $\bar{T}_1(t)$ - ход температуры по данным наблюдений;

на выходных створах: $\frac{\partial T_k}{\partial s_k} = 0$.

Условия сопряжения для внутренних узлов дельты:

условие непрерывности температуры и условие баланса потока тепла для трех сходящихся потоков в точке ребра

$$P_{k_1} = P_{k_2} + P_{k_3} , \quad T_{k_1} = T_{k_2} = T_{k_3} ,$$

где $P = qT - \omega E \frac{\partial T}{\partial s}$.

Морфометрическая и гидрологическая информация

$$\omega_k = \omega_k(s_k, \xi_k), \quad h_s = 0,42b^{0,33},$$

$$\omega_k = A_k h_k + B_k h_k^2,$$

$$z_b = \xi_s - h_s,$$

где z_b - функция донного рельефа,

ξ_s - статистически осреднённое поле уровенной поверхности,

h_s - среднестатистическая глубина,

$\xi_s(x, y)$ строилось по оценочным данным об уклонах свободной поверхности $\frac{\partial \xi_s}{\partial s}$ в различных частях дельты методами теории оптимизации со сглаживанием.

Результаты моделирования

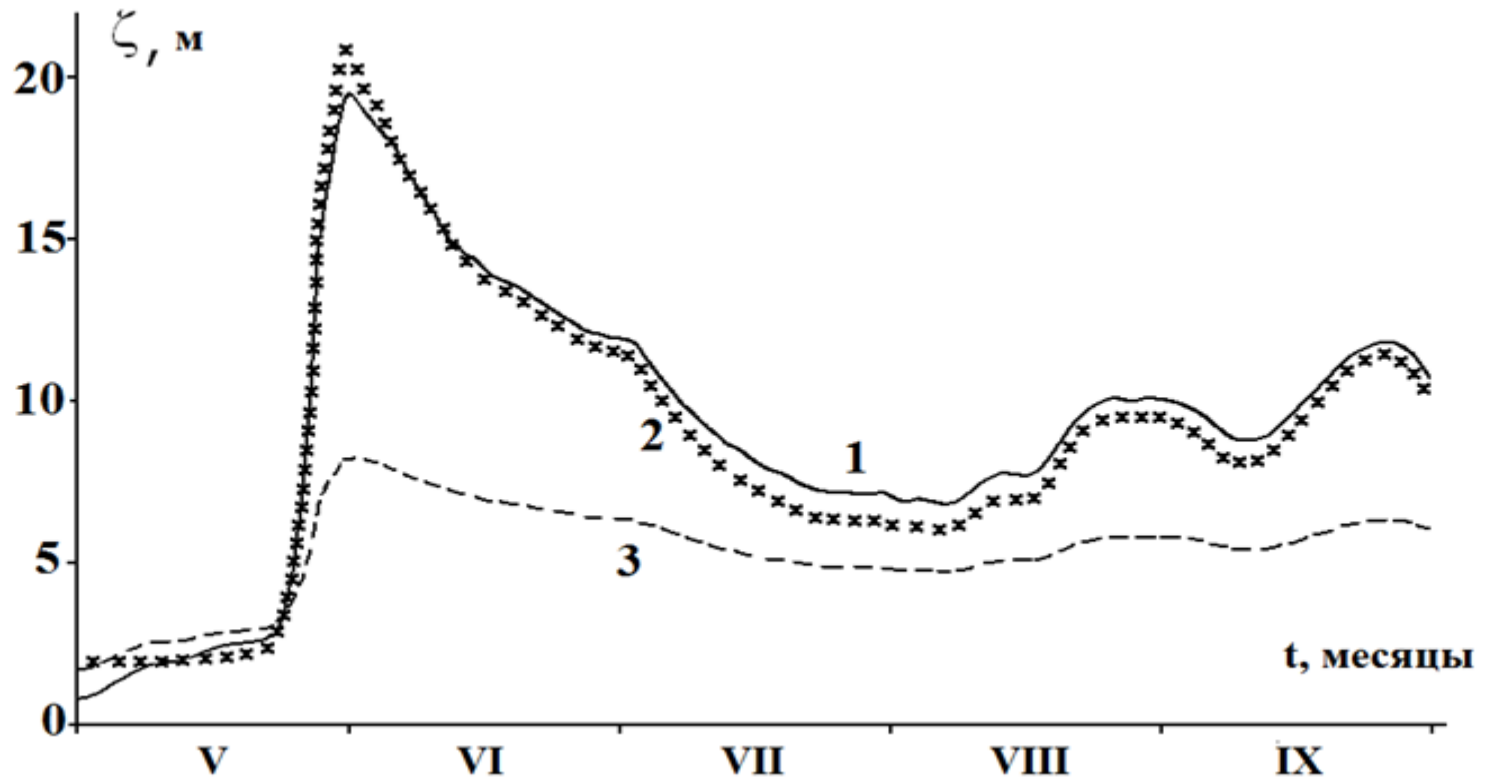


Рис.3. Динамика уровня свободной поверхности в створе с. Кюсюр: 1 - расчетный уровень, 2 - фактический, 3 - по гидролого-морфометрическим связям.

Таблица . Процентное распределение расходов по основным протокам дельты р. Лена

Протоки	Измеренный расход (Гуков, 2001)	Расчетный расход
Быковская протока	24	23,3
Трофимовская и Сардахская протоки	64	64,8 в том числе 31,5% по Трофимовской и 33,3% по Сардахской
Оленекская протока	5	6,1
Б.Туматская протока	4	5,8

Результаты моделирования

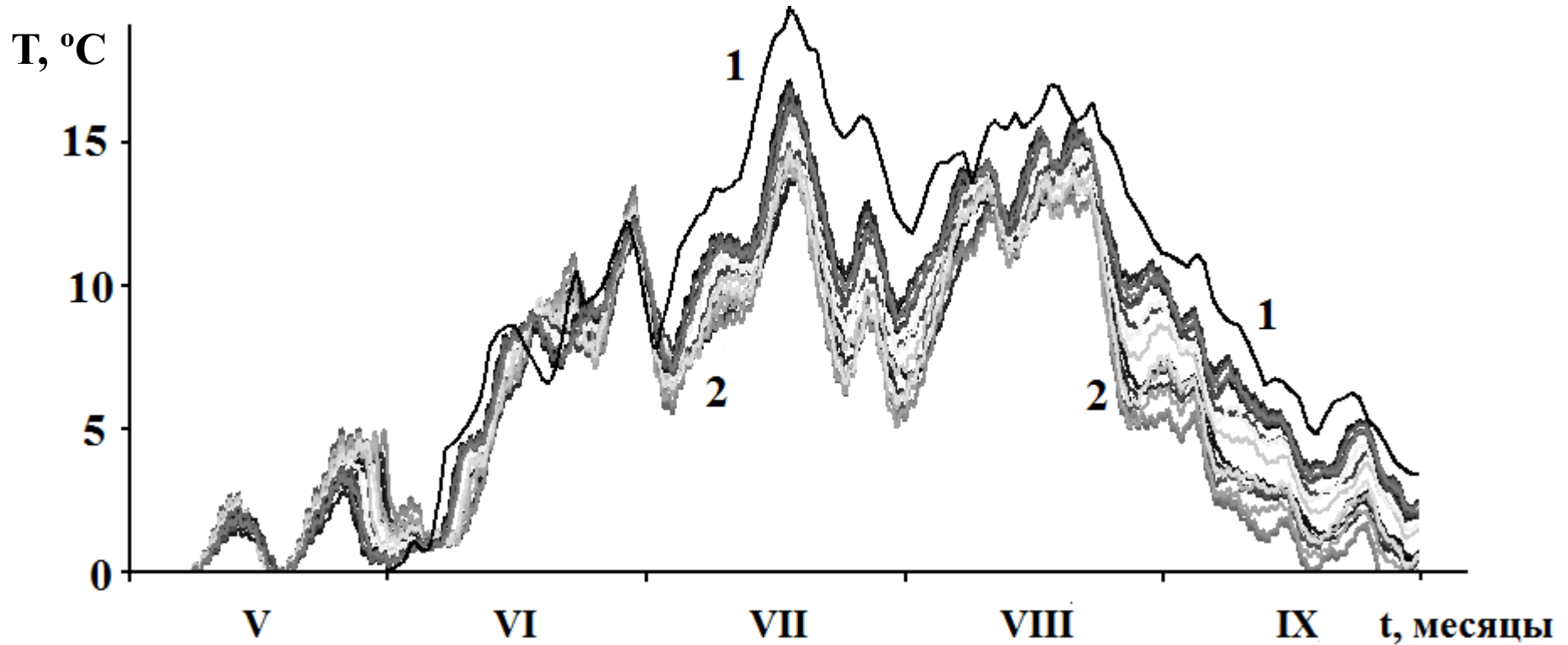


Рис.4. Изменение со временем температуры воды (°C) в створе с Кюсюр (кривая 1) и в рукавах дельты (кривая 2).

Результаты моделирования

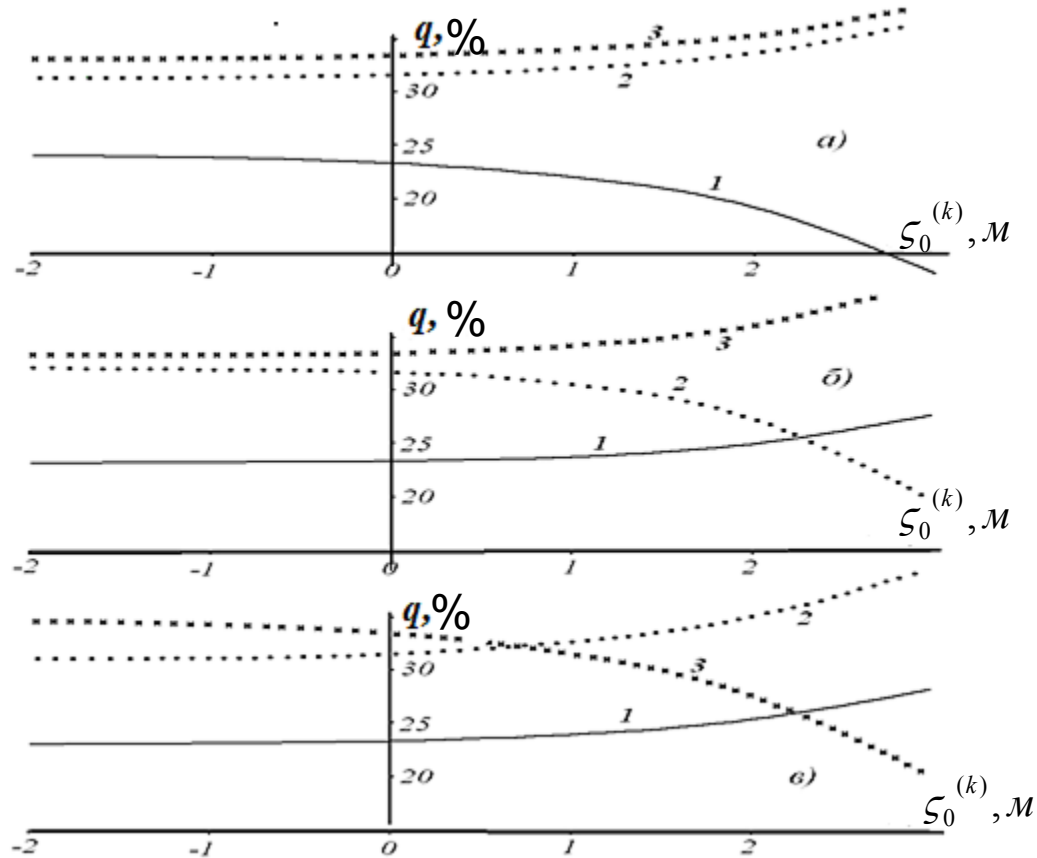


Рис. 5. Изменение расхода воды (в процентах от главного расхода) при вариациях уровня в устье а) Быковской; б) Трофимовской; в) Сардахской проток. Кривые 1,2,3 показывают изменение расходов в Быковской, Трофимовской и Сардахской протоках соответственно.

Литература:

1.Шугрин С.М. Численный расчет неустановившегося движения воды в системах речных русел или каналов. Изв. АН СССР. Сер. техн. наук. 1969. Вып. 1. № 3. С. 25-31.

2.Атавин А.А., Жданов Е.П., Копылов Ю.Н. Одномерная продольная модель переноса тепла и взвешенных речных наносов в водохранилище. Метеорология и гидрология. 1995. № 2. С.93-101.

3.Васильев О. Ф., Годунов С. К., Притвиц Н.А., Темноева Т.А., Фрязинова И.Л., Шугрин С.М. Численный метод расчета длинных волн в открытых руслах и приложение его к задаче о паводке. ДАН. 1963. Т. 151. № 3. С. 525-527.

4.Шлычков В.А. Численная модель пограничного слоя атмосферы с детализацией конвективных процессов на основе вихреразрешающего подхода. В кн.: Аэрозоли Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2006 г. С.372-389.

5.Businger J. A., Wyngaard J. C., Izumi Y. Fluxprofile relationships in the atmospheric surface layer. J. Atmos. Sci. 1971. № 28. P.181–189.

6. **Шлычков В.А.** Численная модель для уравнений мелкой воды на криволинейной сетке с сохранением интеграла Бернулли. Журнал вычислительной математики и математической физики. 2012. Т.52. № 7. С.1317- 1324.
7. **V.A.Shlychkov, G.A.Platov, A.I.Krylova** A coupled hydrodynamic system of the Lena River delta and the Laptev Sea shelf zone: the model tuning and preliminary results of numerical simulation // Bull. Nov. Comp. Center, Num. Model. in Atmosph., - 2014. - V.14. – P. 81-103.
8. Водные пути бассейна реки Лены. М. МИКИС. 1995.600 с.
9. **Воеводин А.Ф., Никифоровская В.Ф., Овчарова А.С.** Численные методы решения задачи о неустановившемся движении воды на устьевых участках рек. Труды ААНИИ. 1983. Т.378. С.23-34.
10. **Гуков А.Ю.** Гидробиология устьевой области реки лены. М. Научный мир. 2001. 288с.
11. **Коротаев В.Н.** Очерки по геоморфологии устьевых и береговых систем. М. Геогр.фак. МГУ. 2012. 54-с.
12. **Шлычков В.А.** Численная модель пограничного слоя атмосферы с детализацией конвективных процессов на основе вихреразрешающего подхода. В кн.: Аэрозоли Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН . 2006. С.372-389.