

**ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЬЮТЕРНОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕЧЕНИЙ В МЕЖГОРНОЙ
КОТЛОВИНЕ ПРИ СБРОСЕ ЛЕДНИКОВО-ПОДПРУДНЫХ
ОЗЕР (НА ПРИМЕРЕ КУРАЙСКОЙ КОТЛОВИНЫ,
ГОРНЫЙ АЛТАЙ)**

Инишев Н.Г., Рудой А.Н., Земцов В.А., Вершинин Д.А.

Томский государственный университет

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 10-05-00625-а)

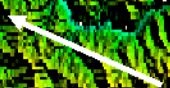
3,000 m

2,500 m

2,000 m

1,500 m

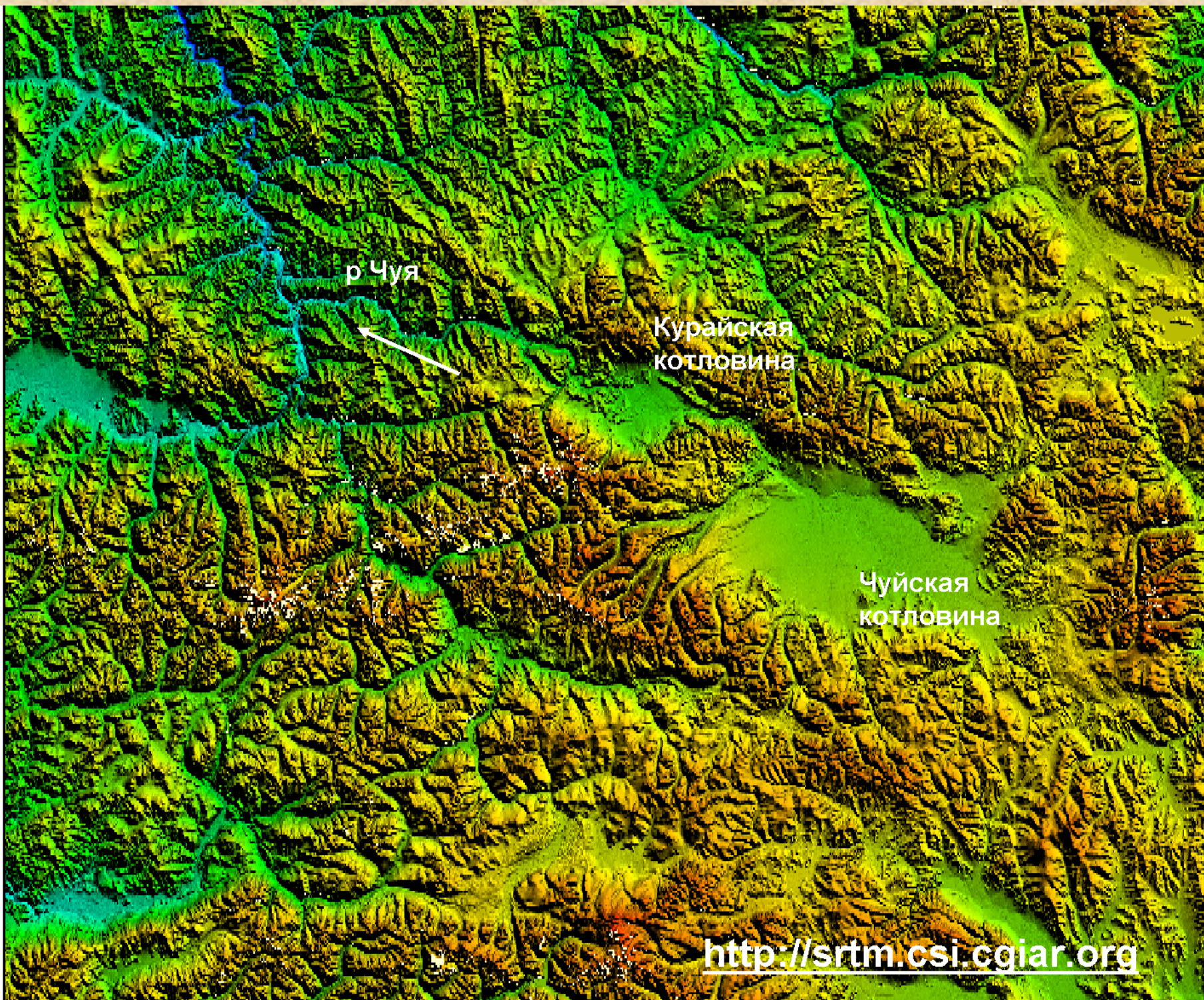
р Чуя



Курайская
котловина

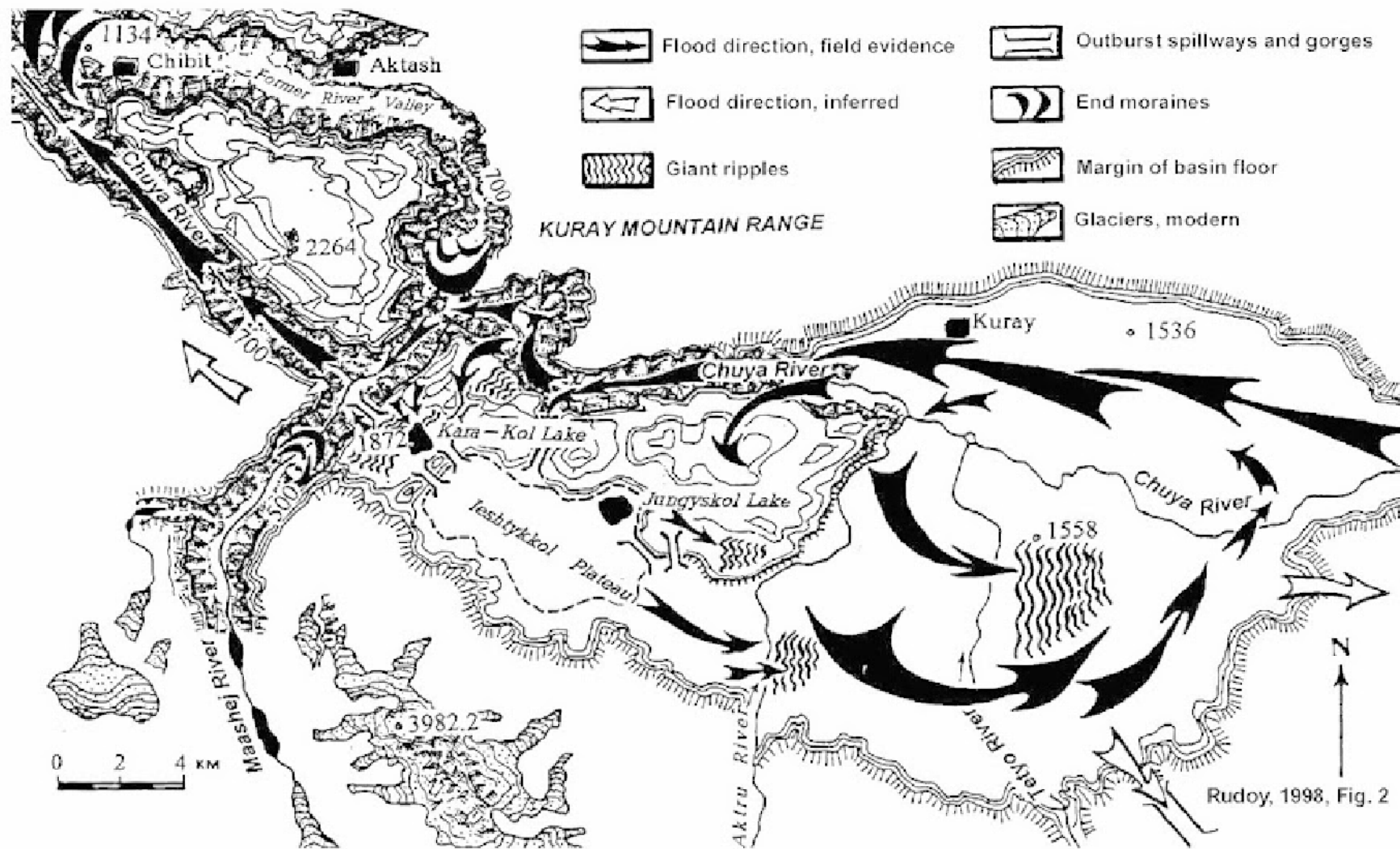
Чуйская
котловина

<http://srtm.csi.cgiar.org>

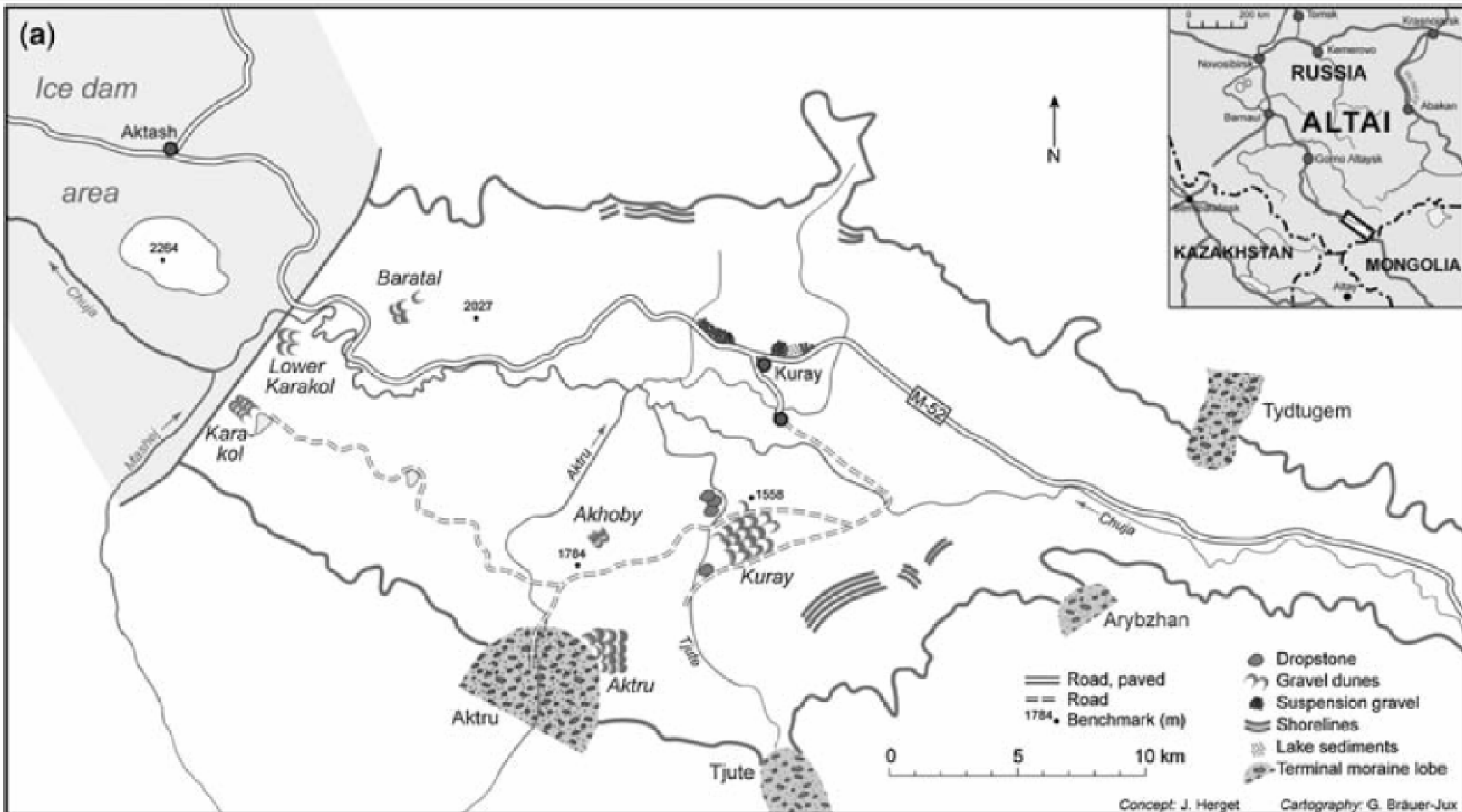


Циркуляционные течения в Курайской котловине (по Rudoy, 1998)

KURAY BASIN, ALTAI MOUNTAINS - 11.5 Ka

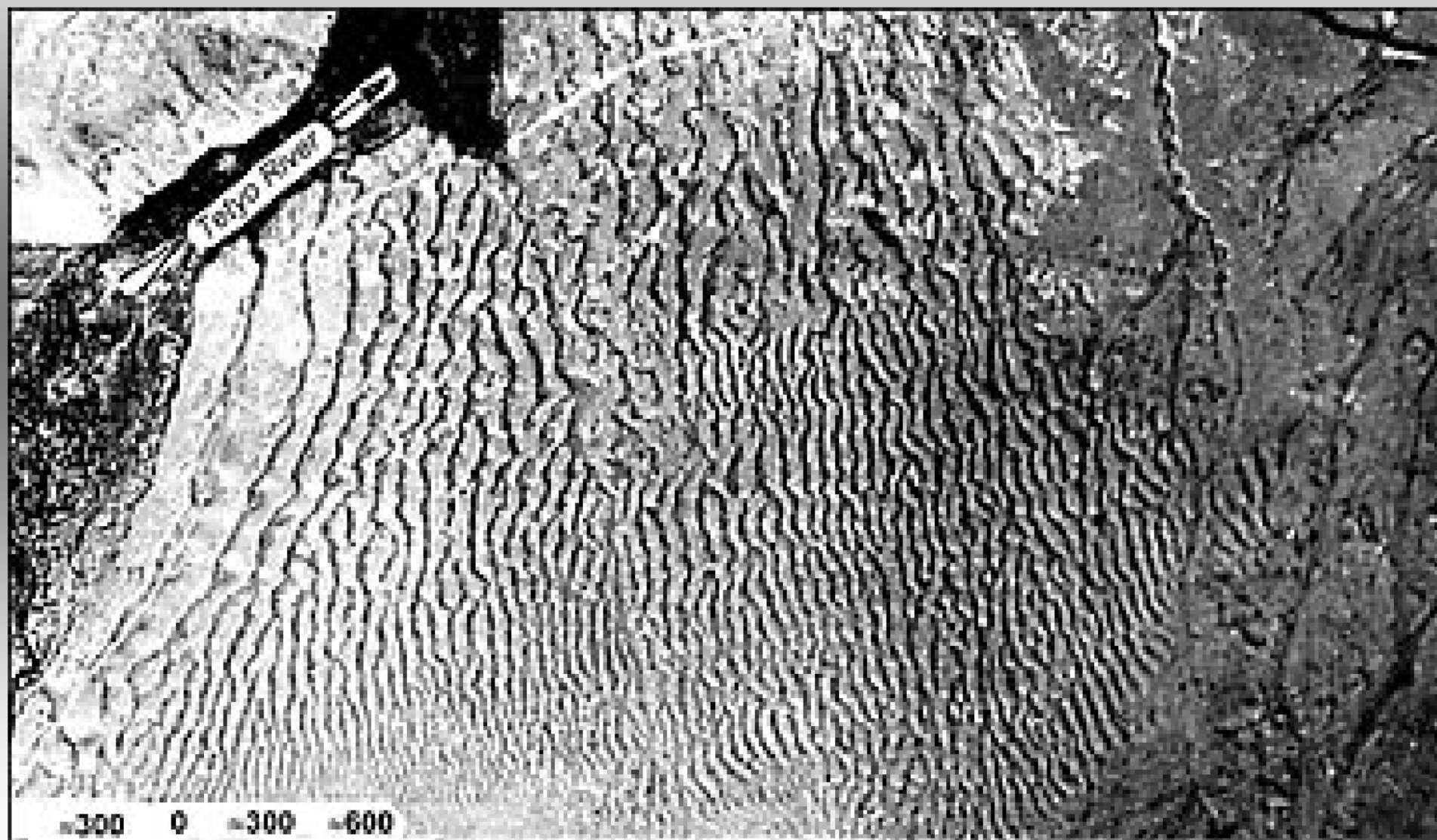


Расположение полей гравийных гряд в Курайской котловине (по Carling et al, 2011)



Concept: J. Herget Cartography: G. Bräuer-Jux

Курайское поле гравийных гряд



Курайское поле гравийных гряд



- Предлагается двумерная компьютерная модель движения воды, включая циркуляционные течения, непосредственно в Курайском озере в процессе его опорожнения при разных расходах воды в транзитном потоке.
- Для создания модели использована программа RMA2 в моделирующей системе SMS 9.2.

RMA2: уравнения сохранения массы и количества движения в двумерной прямоугольной системе координат:

$$\begin{aligned}
 & h \cdot \frac{\partial u}{\partial t} + h \cdot u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + h \cdot v \cdot \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \cdot \left(E_{xx} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{xy} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + g \cdot h \cdot \left(\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \\
 & + \frac{g \cdot u \cdot n^2}{\left(h^{\frac{1}{6}} \right)^2} \left(u^2 + v^2 \right)^{0.5} - \zeta \cdot V_a^2 \cdot \cos \psi + 2 \cdot h \cdot \omega \cdot v \cdot \sin \phi = 0
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 & h \cdot \frac{\partial v}{\partial t} + h \cdot u \cdot \frac{\partial v}{\partial x} + h \cdot v \cdot \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \cdot \left(E_{yx} \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_{yy} \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + g \cdot h \cdot \left(\frac{\partial a}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \\
 & + \frac{g \cdot v \cdot n^2}{\left(h^{\frac{1}{6}} \right)^2} \left(u^2 + v^2 \right)^{0.5} - \zeta \cdot V_a^2 \cdot \sin \psi + 2 \cdot h \cdot \omega \cdot v \cdot \sin \phi = 0
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \cdot \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \cdot \frac{\partial h}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial h}{\partial y} = 0 \tag{3}$$

Условные обозначения к формулам (1)–(3):

h – глубина;

u, v – проекции скорости вдоль направления потока и горизонтально перпендикулярно направлению потока;

x, y – координаты в горизонтальной плоскости по направлению потока и перпендикулярно к нему;

t – время;

ρ – плотность жидкости;

E_{xx}, E_{yy} – коэффициенты турбулентной вязкости на поверхности, перпендикулярной оси x и y соответственно;

E_{xy}, E_{yx} – коэффициенты турбулентной вязкости по касательной к каждой из указанных поверхностей;

g – ускорение свободного падения;

a – отметка дна;

n – коэффициент шероховатости Маннинга;

ζ – эмпирический коэффициент касательного напряжения ветра;

V_a – скорость ветра;

ψ – направление ветра;

ω – угловая скорость вращения Земли;

ϕ – широта местности.

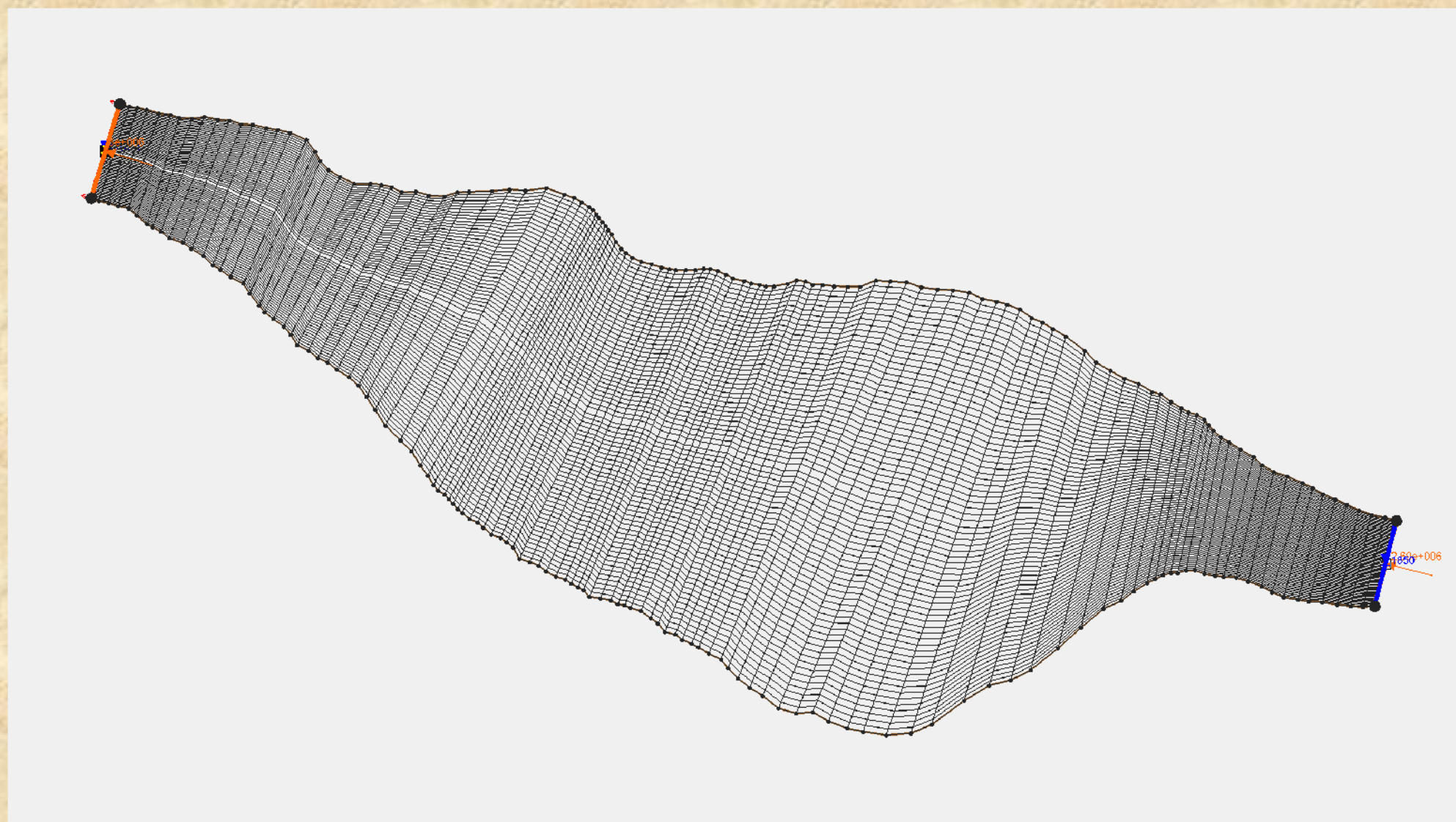
- При моделировании принято допущение, что расходы воды на входе в “озеро” и выходе из него одинаковы. Это соответствует условиям транзитного режима движения воды в Курайском “озере”. Подобные условия, например, могли сложиться при почти одновременном прорыве верхней плотины между Курайским и Чуйским “озерами” и нижней ледниковой плотины на выходе из всей “озерной” системы.

Расчетная сетка:

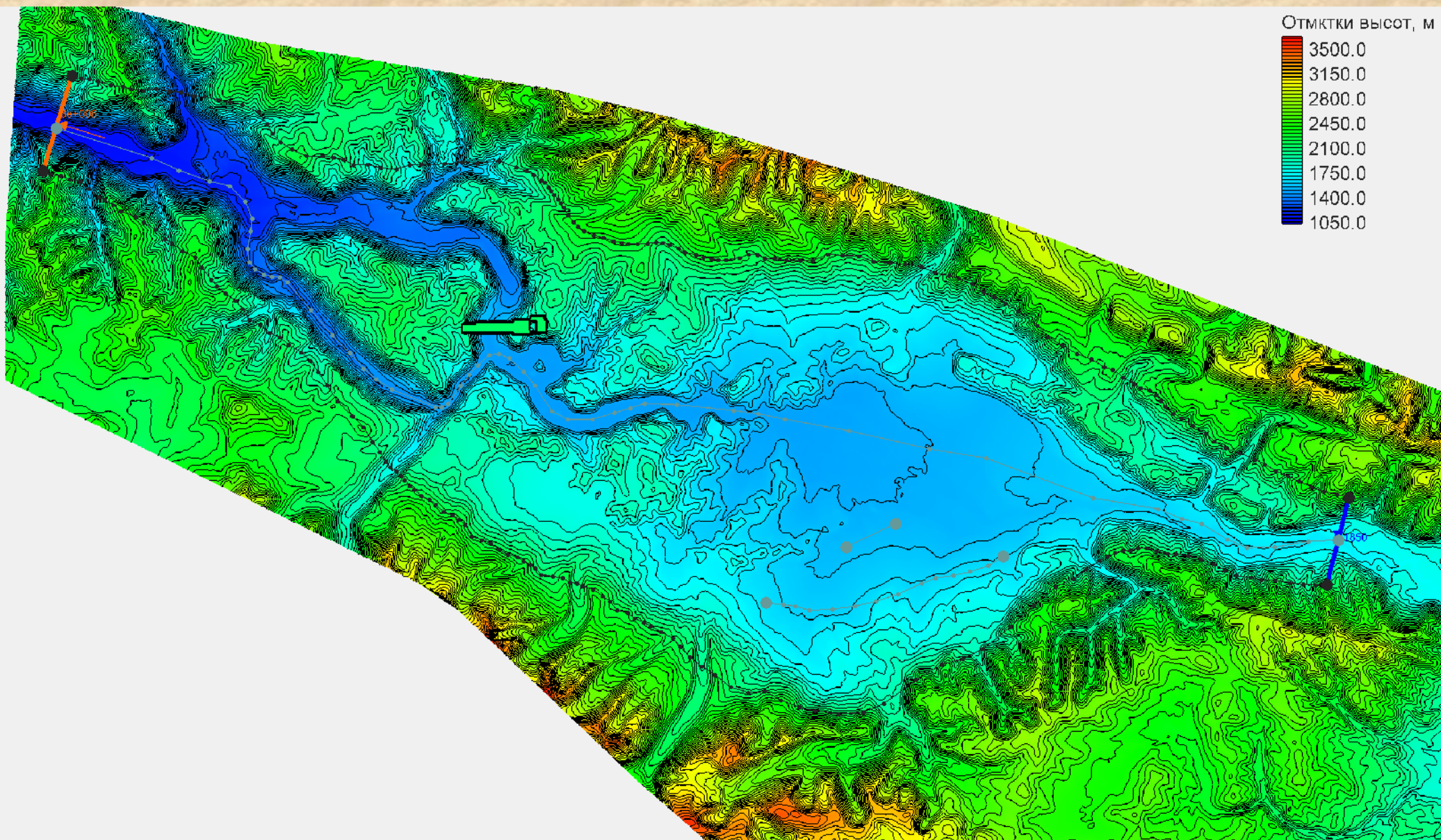
8330 элементов,

25369 точек

Диапазон отметок местности 1072-2315 м



Цифровая модель рельефа, получена по данным космического зондирования земной поверхности (SRTM-матрицы).



Начальные и граничные условия:

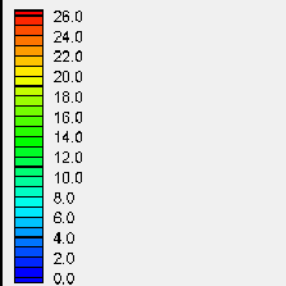
- Расходы воды на входе в Курайское озеро принимались фиксированными – последовательно в диапазоне от 10 до 0,3 млн. м³/с с шагом 1 млн. м³/с.
- уровни воды в нижнем створе (в районе современного пос. Чибит) задавались, исходя из необходимости получения устойчивых решений.
- Коэффициент шероховатости Маннинга принят для всего диапазона моделируемых условий равным 0,03.
- Коэффициент турбулентной вязкости задавался в зависимости от значения числа Пекле (Peclet), определяемого критическими размерами ячеек расчетной сетки.

По мере изменения расхода транзитного потока результатами двумерной модели являются:

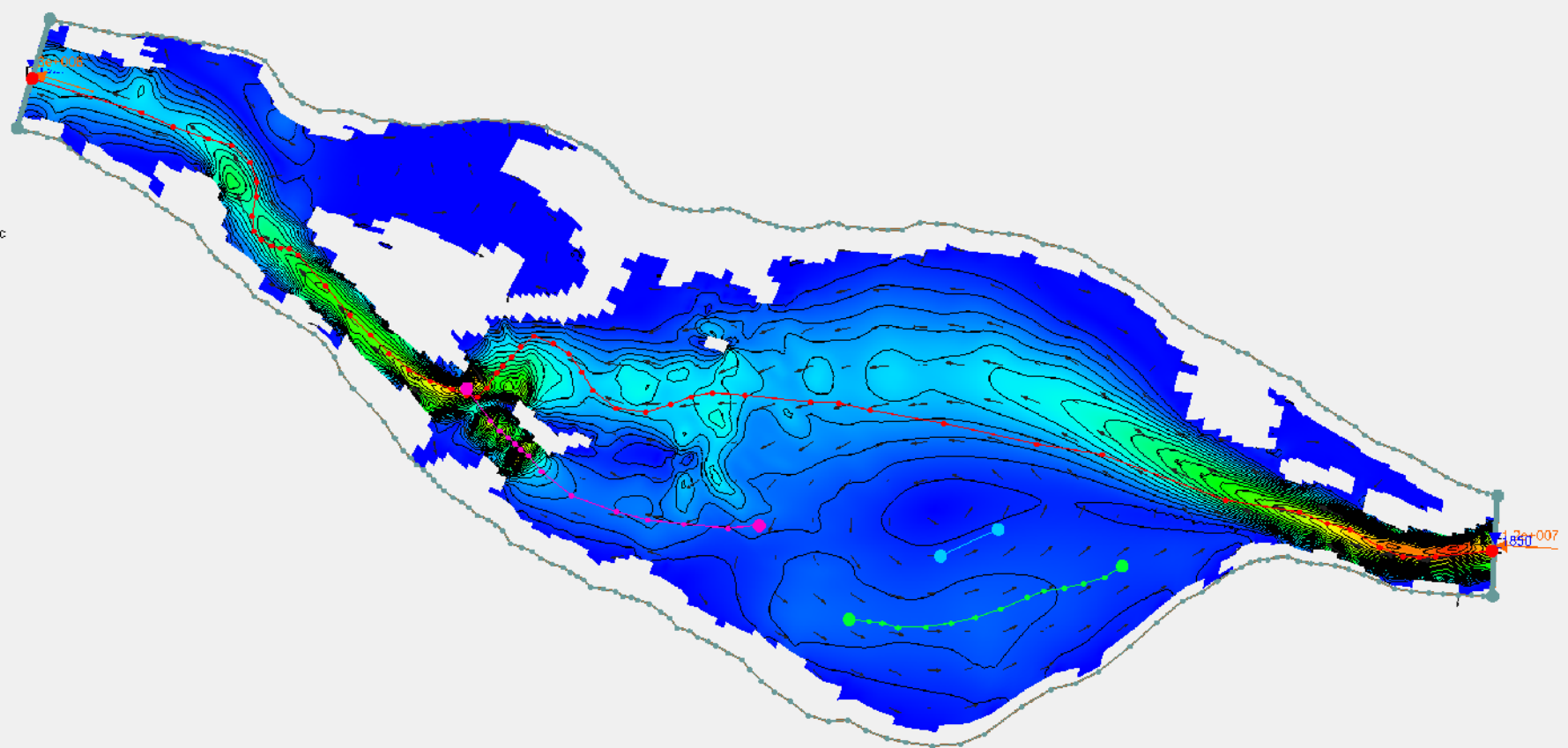
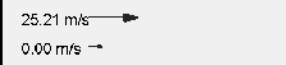
- последовательные мгновенные характерные планы течений,
- поля глубин, отметок свободной поверхности и осредненных по вертикали скоростей течения (величина и направление вектора скорости). По ним легко определить единичные расходы воды на разных участках циркуляционных течений, критические скорости движения наносов и т.д.

Поле скоростей при транзитном расходе воды $8,9 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$

Средняя скорость на вертикали, м/с

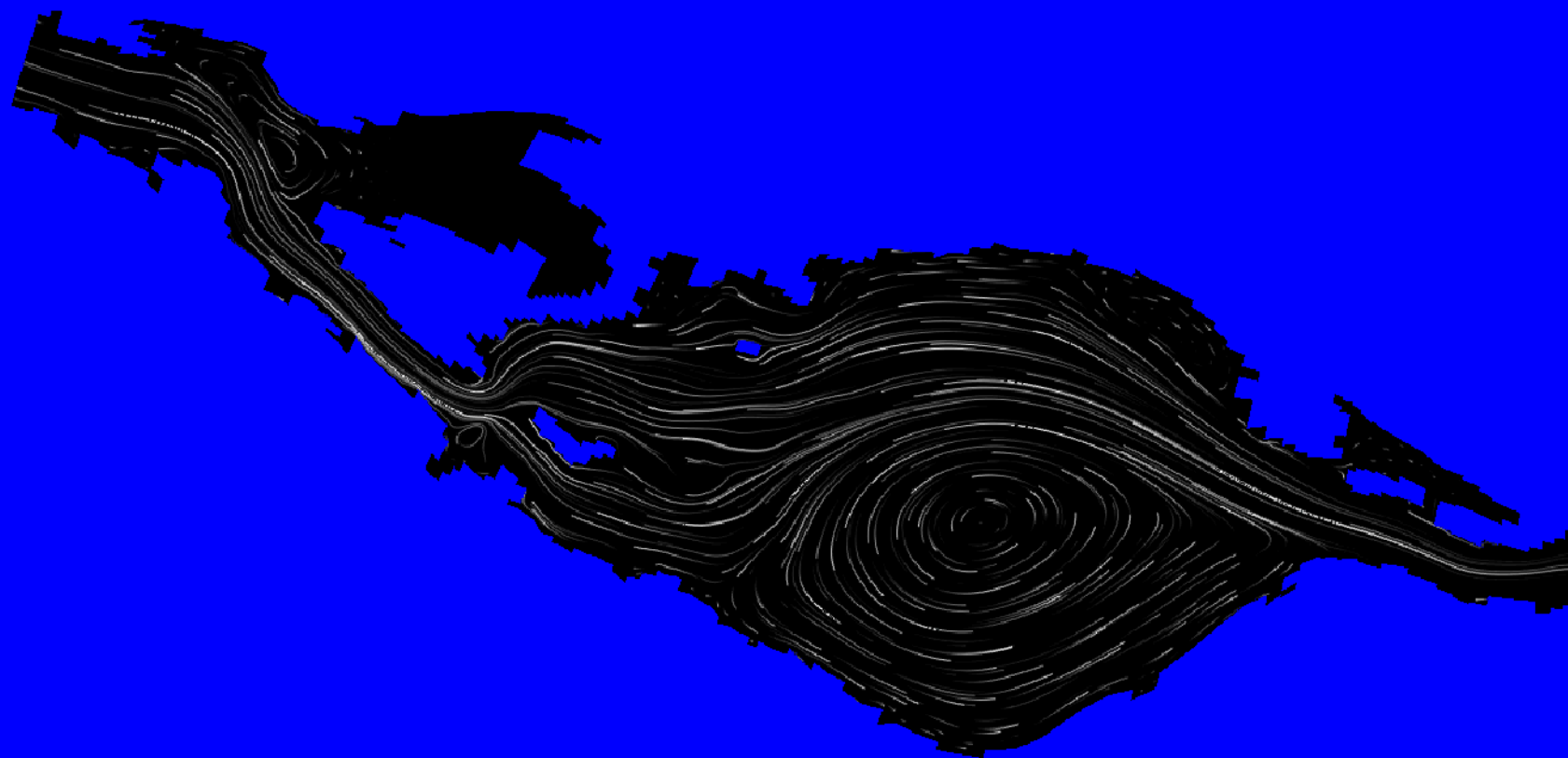


Средняя скорость на вертикали, м/с

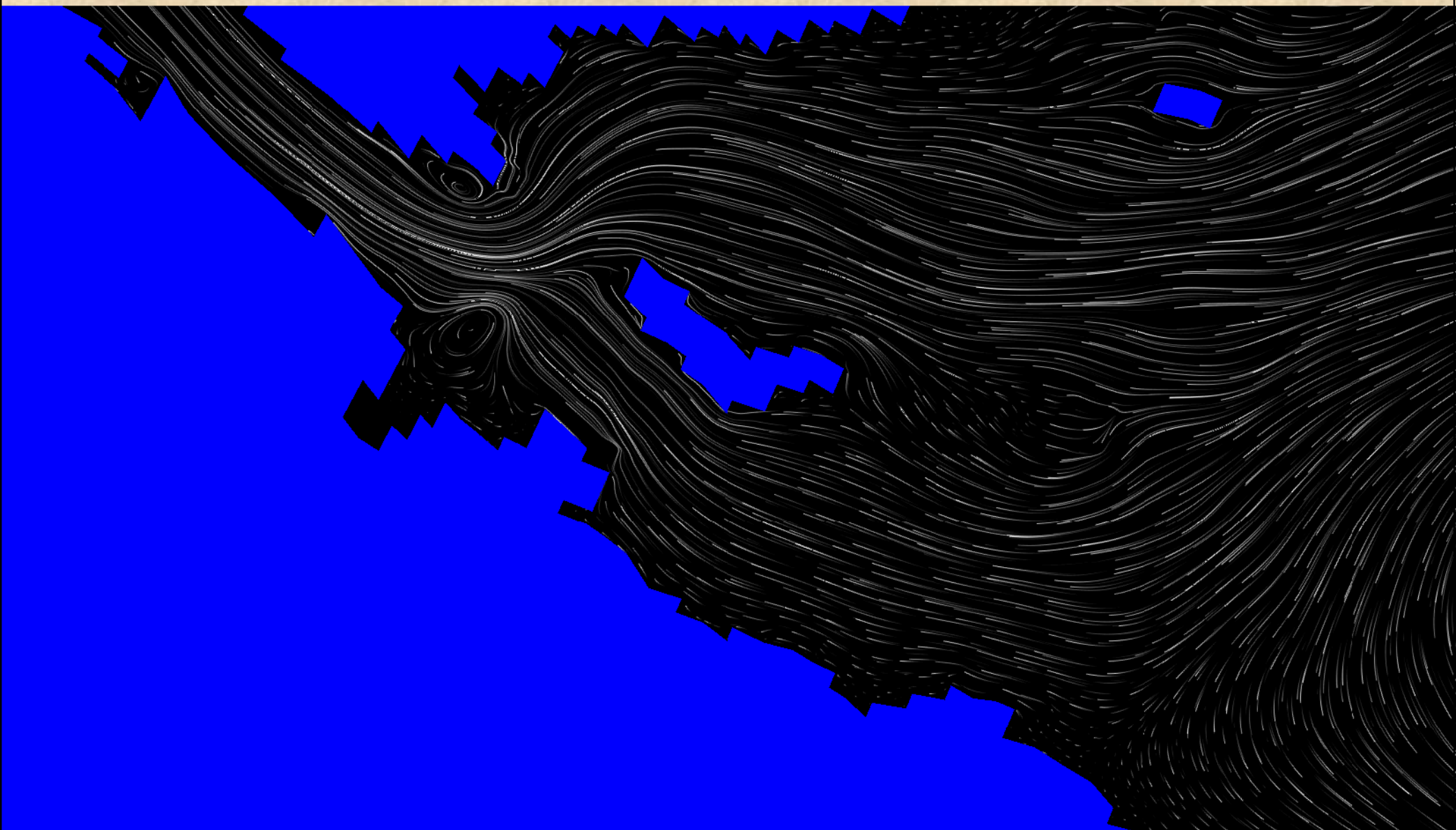


1.2e+007

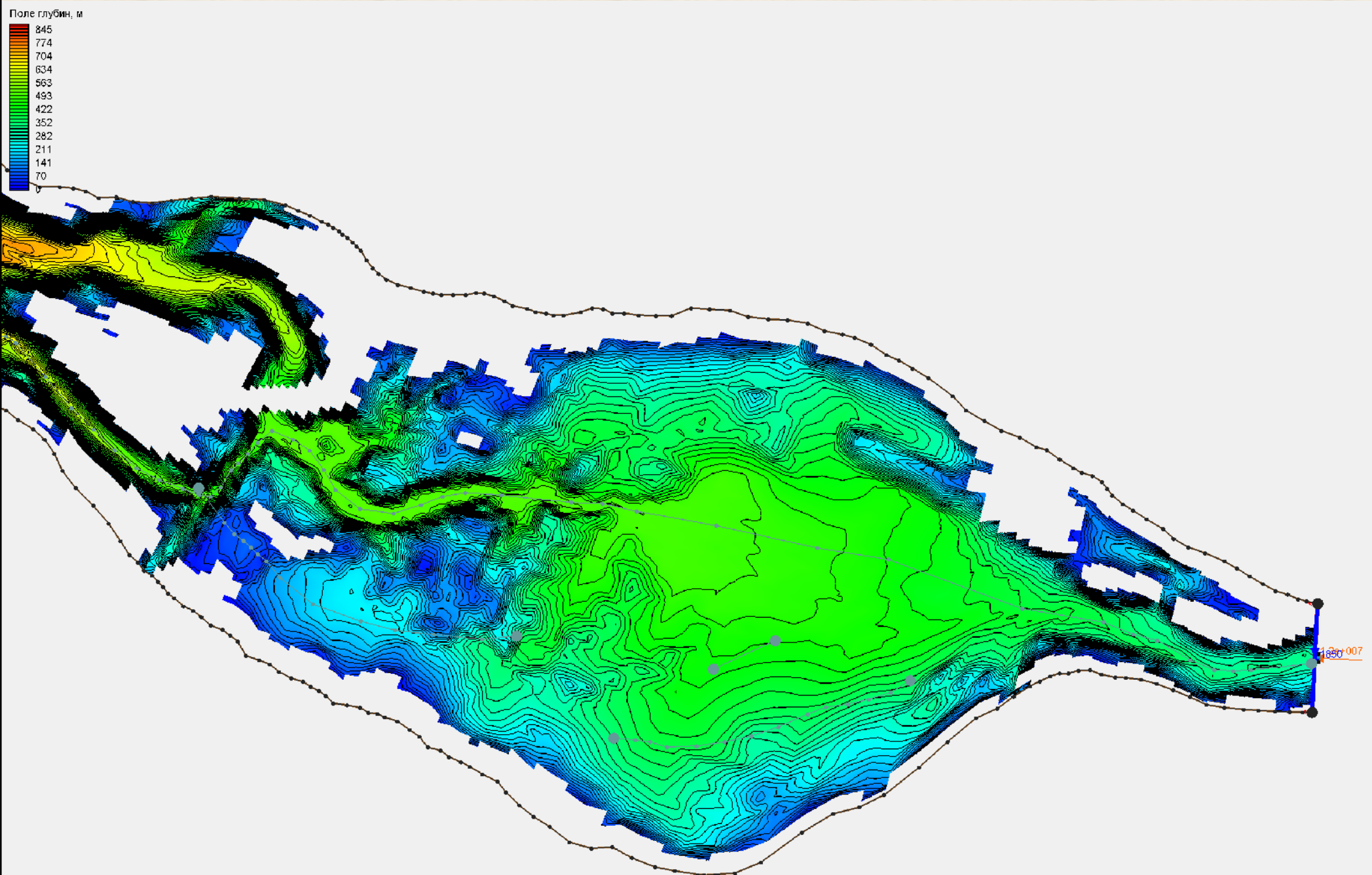
План течений при транзитном расходе воды $8,9 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$



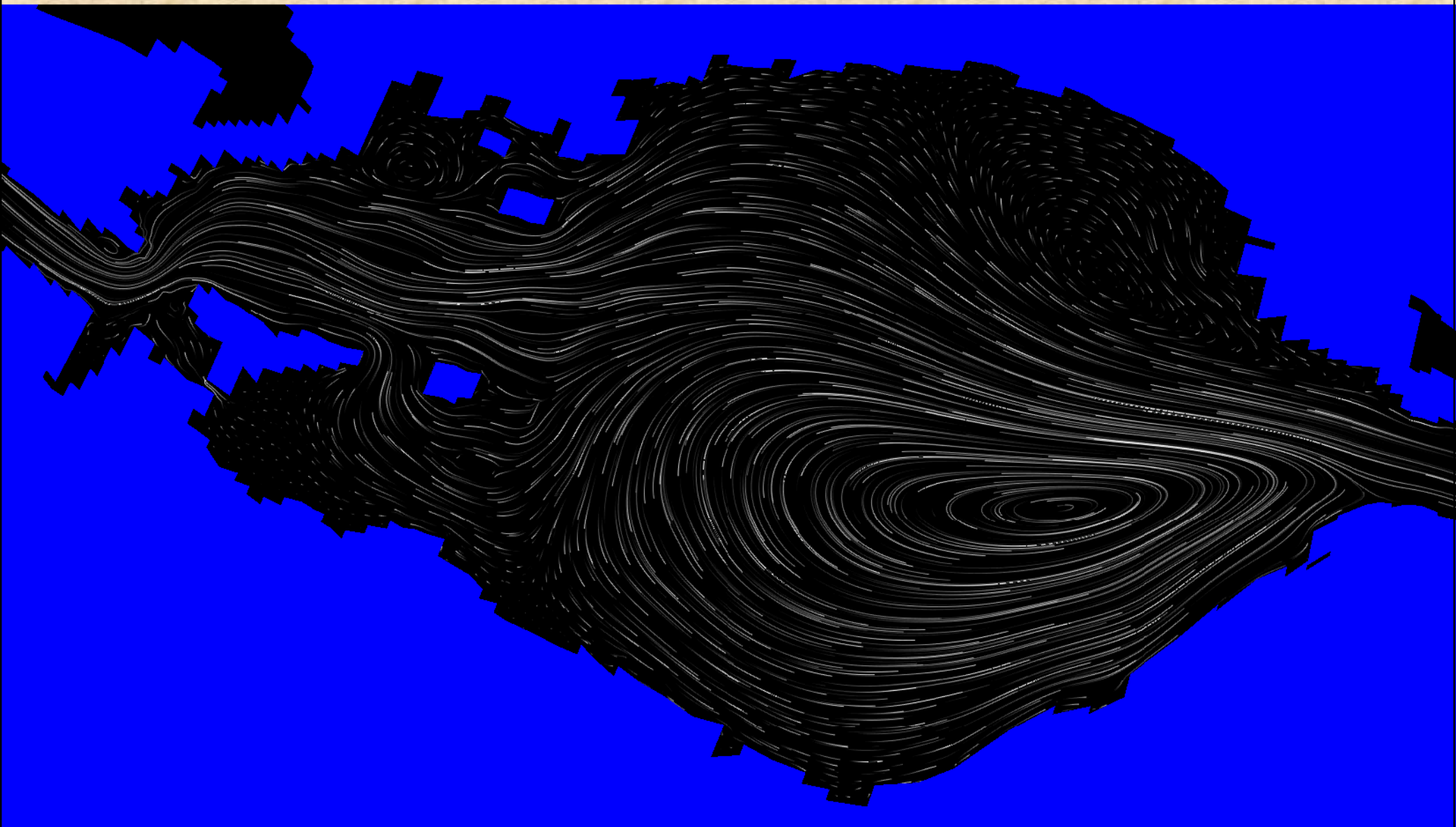
План течений при транзитном расходе воды $8,9 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$
Увеличенный фрагмент в районе дюнного поля у оз.Караколь



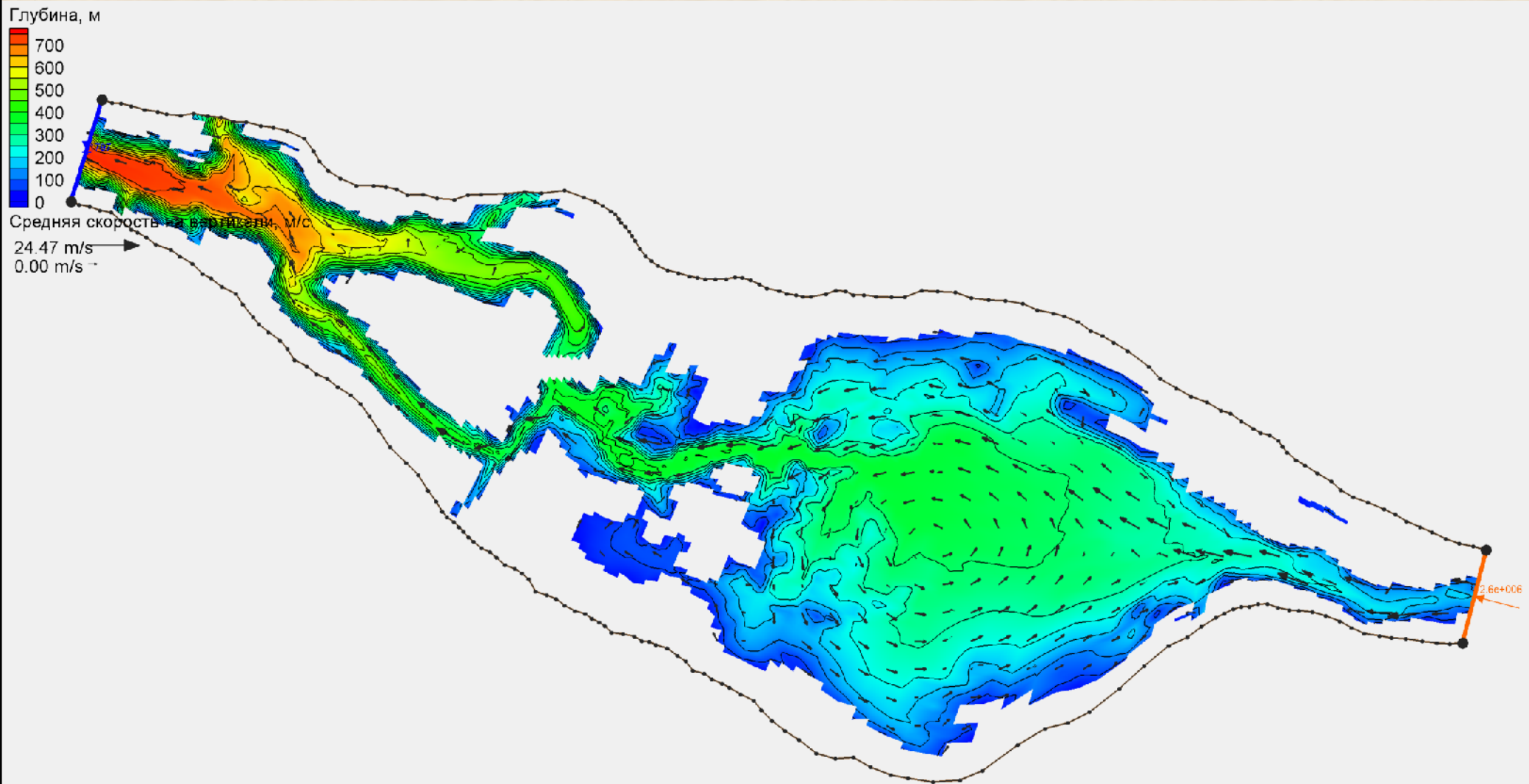
Поле глубин при транзитном расходе воды $8,9 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$



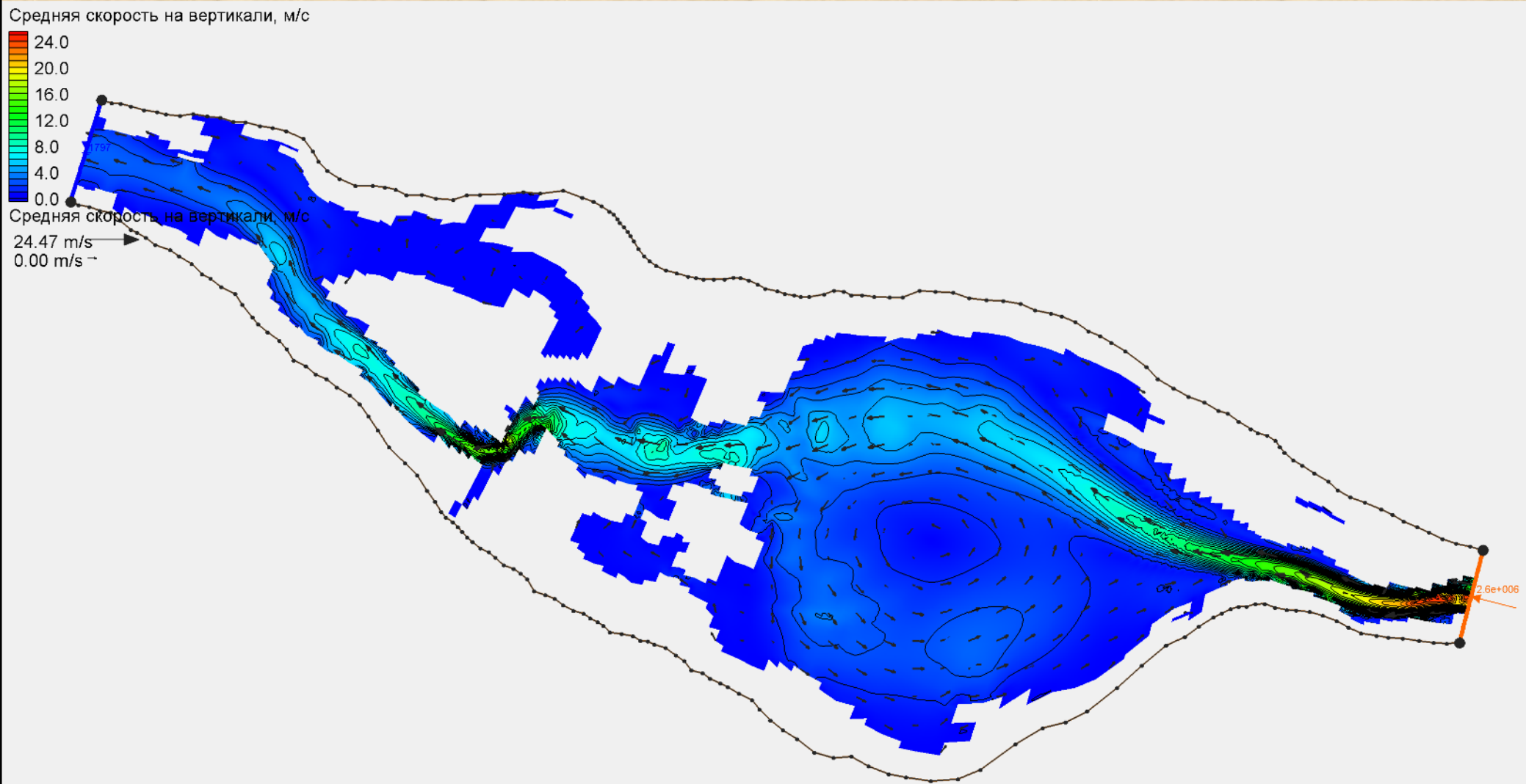
План течений при транзитном расходе воды $5,5 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$



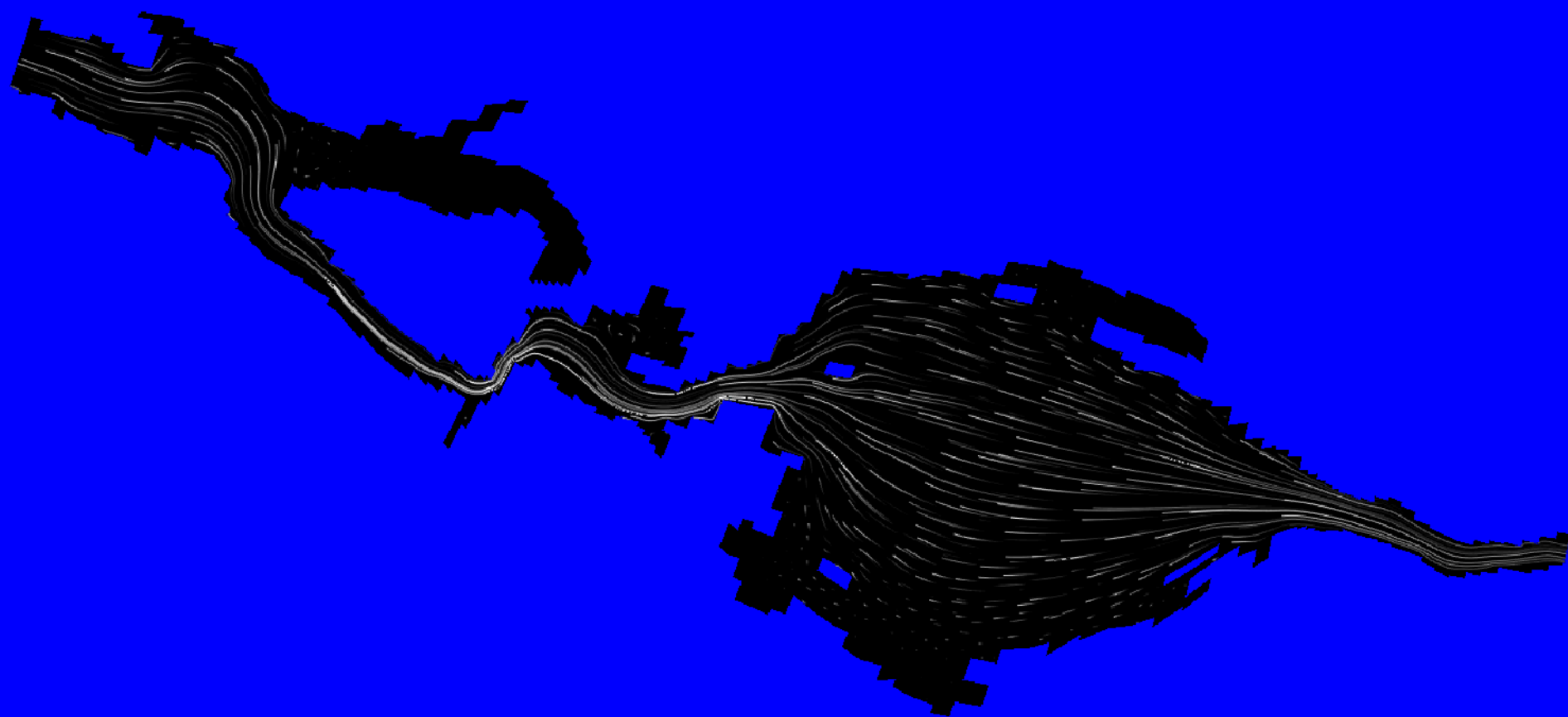
Поле глубин при транзитном расходе воды $2,6 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$



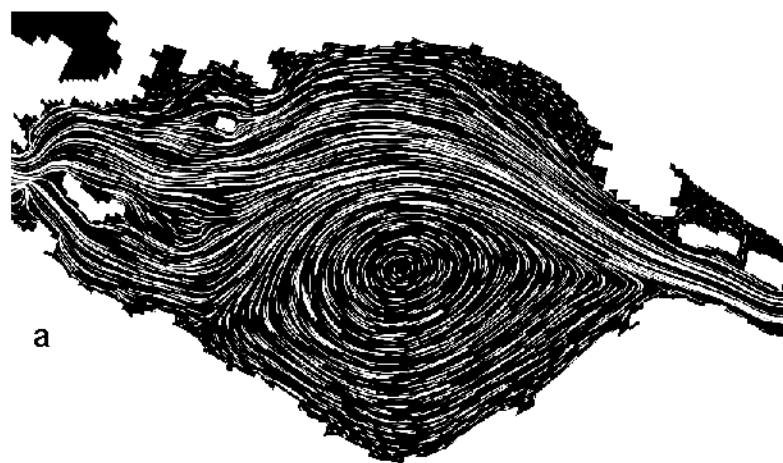
Поле скоростей при транзитном расходе воды $2,6 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$



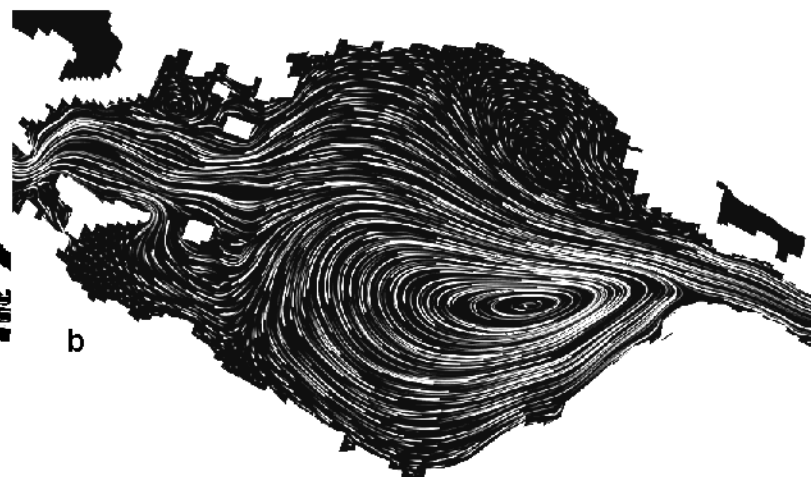
План течений при транзитном расходе воды $0,38 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$



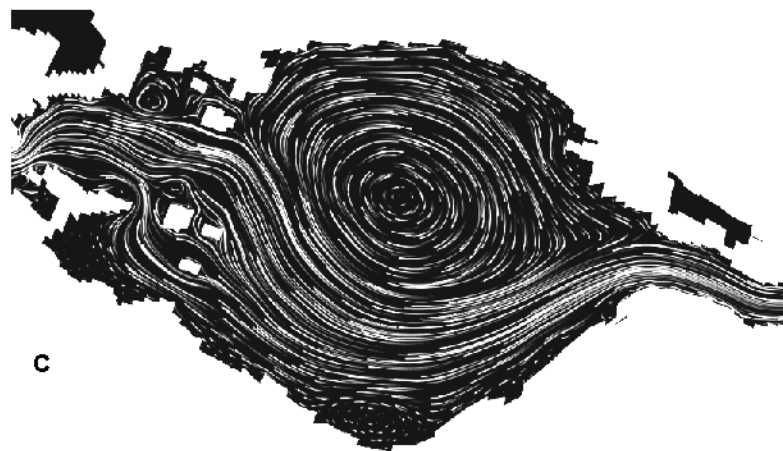
Характер течений в Курайском озере при транзитном расходе воды 9,6 млн. м³/с (а), 5,5 млн. м³/с (b), 4,5 млн. м³/с (c) и 2,8 млн. м³/с (d)



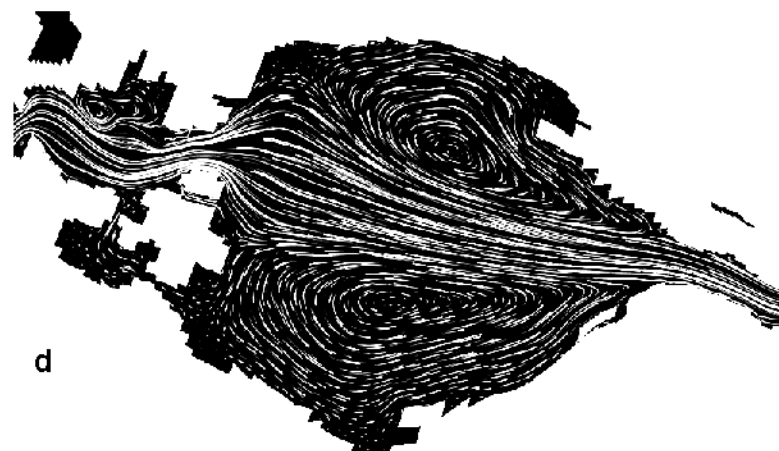
a



b



c



d

Оценка длины и высоты гряд по материалам моделирования

Сопоставление схем циркуляции и значений гидравлических характеристик при разных транзитных расходах воды в озере с размерами и ориентацией гряд на дне Курайской котловины позволяет с определенной долей приближения судить о том, в каких условиях и на каких этапах опорожнения озера, вероятно, могли образоваться те или иные грядовые поля.

Спасибо за внимание!

