

Практическое занятие 3.

Анализ LKF в полной постановке.

Секция “Науки о Земле”, проект “Моделирование динамики
морского льда”.

Яковлев Николай Геннадьевич

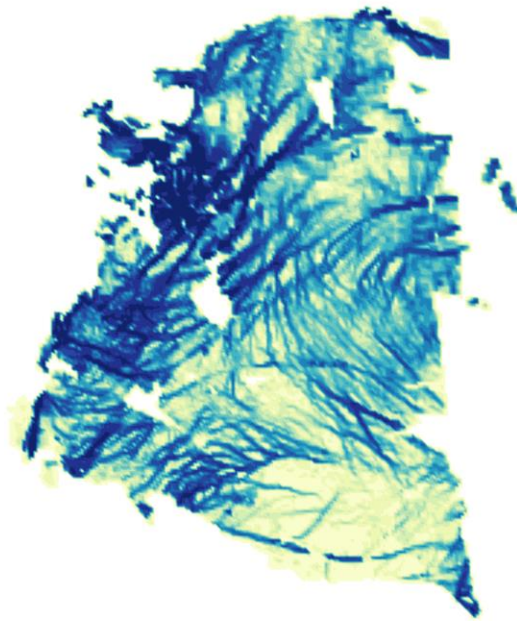
Петров Сергей Сергеевич

Что такое LKF?

- LKF (Linear kinematic features) – это области особенностей морского льда, которые возникают в природе и при моделировании;
- LKF характеризуются низкой сплоченностью и высокой деформацией морского льда;



(a)



(b)



(c)

Полная система уравнений динамики морского льда

$$\left\{ \begin{array}{l} m(\partial_t + f\mathbf{k} \times) \mathbf{u} = a\tau - C_d a \rho_0 (\mathbf{u} - \mathbf{u}_0) |\mathbf{u} - \mathbf{u}_0| + \mathbf{F} - mg \nabla H \\ \tau = C_a \rho_a |\mathbf{u}_a| \mathbf{u}_a \\ F_l = \frac{\partial \sigma_{kl}}{\partial x_k}, \quad l = 1, 2 \\ \sigma_{kl}(\mathbf{u}) = \frac{P}{2(\Delta + \Delta_{min})} \left[(\dot{\varepsilon}_d - \Delta) \delta_{kl} + \frac{1}{e^2} (2\dot{\varepsilon}_{kl} - \dot{\varepsilon}_d \delta_{kl}) \right] \\ \dot{\varepsilon}_{kl} = \frac{1}{2} (\partial_k u_l + \partial_l u_k); \quad \dot{\varepsilon}_d = \dot{\varepsilon}_{kk} = \dot{\varepsilon}_{11} + \dot{\varepsilon}_{22} \\ \dot{\varepsilon}_s = ((\dot{\varepsilon}_{11} - \dot{\varepsilon}_{22})^2 + 4\dot{\varepsilon}_{12}^2)^{1/2}; \quad \Delta = (\dot{\varepsilon}_d^2 + \frac{1}{e^2} \dot{\varepsilon}_s^2)^{1/2} \\ \partial_t A + \nabla \cdot (\mathbf{u} A) = 0, \quad A \leq 1 \\ \partial_t m + \nabla \cdot (\mathbf{u} m) = 0 \end{array} \right.$$

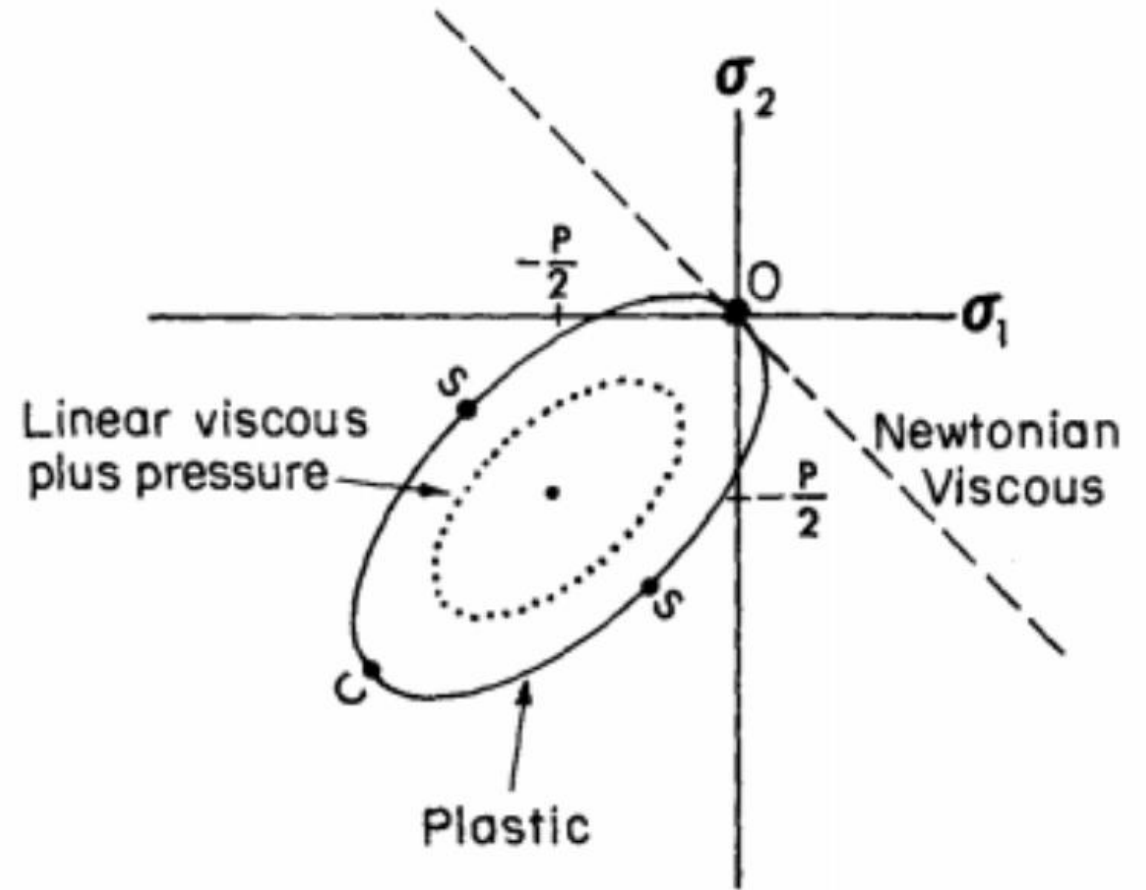
Аппроксимация давления и диаграмма напряжений

“Классическая” аппроксимация давления:

$$P_0 = p^* h e^{-C(1-a)}, \quad P = P_0.$$

Аппроксимация “со смещением”²:

$$P_0 = p^* h e^{-C(1-a)}, \quad P = \frac{P_0 \Delta}{\Delta + \Delta_{min}}.$$



mEVP-метод интегрирования уравнения баланса импульса³

$$\begin{aligned}\alpha(\sigma_1^{p+1} - \sigma_1^p) &= \frac{P_0}{\Delta^p + \Delta_{min}} (\dot{\varepsilon}_1^p - \Delta^p) - \sigma_1^p \\ \alpha(\sigma_2^{p+1} - \sigma_2^p) &= \frac{P_0}{(\Delta^p + \Delta_{min}) \cdot e^2} \dot{\varepsilon}_2^p - \sigma_2^p \\ \alpha(\sigma_{12}^{p+1} - \sigma_{12}^p) &= \frac{P_0}{(\Delta^p + \Delta_{min}) \cdot e^2} \dot{\varepsilon}_{12}^p - \sigma_{12}^p \\ \beta(\mathbf{u}^{p+1} - \mathbf{u}^p) &= -\mathbf{u}^{p+1} + \mathbf{u}^n - \Delta t \mathbf{f} \times \mathbf{u}^{p+1} + \\ &+ \frac{\Delta t}{m} [\mathbf{F}^{p+1} + a\tau + C_d a \rho_0 (\mathbf{u}_0^n - \mathbf{u}^{p+1}) |\mathbf{u}_0^p - \mathbf{u}^p| - mg \nabla H^n] .\end{aligned}$$

Инициализация значений скорости и компонент тензора напряжений происходит с предыдущего глобального временного шага либо происходит инициализация нулевыми значениями.

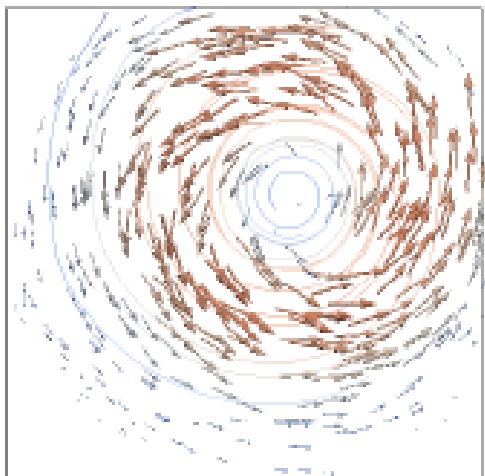
Настройка форсинга для тестового эксперимента

The test case corresponds to the initial phase of the deformation of sea ice caused by a moving cyclone. We consider the quadratic domain $\Omega = (0, 512 \text{ km})^2$ and measure the time t in days. The simulation is run for $T = [0, 2]$ days. We prescribe a circular steady ocean current

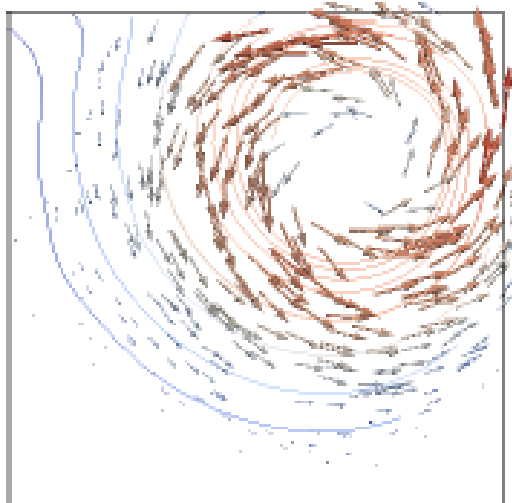
$$\mathbf{v}_{ocean} = \bar{v}_{ocean}^{max} \begin{pmatrix} (2y - L)/L \\ -(2x - L)/L \end{pmatrix}, \quad (9)$$

with $L = 512000 \text{ m}$ and

$$\bar{v}_{ocean}^{max} = 0.01 \text{ m s}^{-1}.$$



$t = 1 \text{ days}$



$t = 2 \text{ days}$

The wind field is described by a cyclone which moves from the center of the domain to the upper right edge. The center of the cyclone moves in time as

$$m_x(t) = m_y(t) = 51200 \text{ m} + 51200 \text{ m day}^{-1} \cdot t. \quad (10)$$

The maximal wind speed is set to $v_{max} = 15 \text{ m s}^{-1}$. To reduce the wind speed away from the center, it is multiplied by the factor

$$s = \frac{1}{50} \exp(-0.01r), \quad r = \sqrt{(m_x - x)^2 + (m_y - y)^2}. \quad (11)$$

Given the convergence angle $\alpha = 72^\circ$ for the cyclone, the wind vector is finally expressed as

$$\mathbf{v}_a = -s \cdot v_{max} \begin{pmatrix} \cos(\alpha)(x - m_x) + \sin(\alpha)(y - m_y) \\ -\sin(\alpha)(x - m_x) + \cos(\alpha)(y - m_y) \end{pmatrix}. \quad (12)$$

We initialize the simulation with sea ice at rest and assume a constant ice concentration of 1.0 and a small perturbation of the ice thickness around a mean of $H^0(x, y) = 0.3 \text{ m}$. These initial conditions are

$$\mathbf{v}(0, x, y) = \mathbf{v}^0(x, y) := 0 \text{ m s}^{-1}, \quad (13)$$

$$A(0, x, y) = A^0 := 1, \quad (14)$$

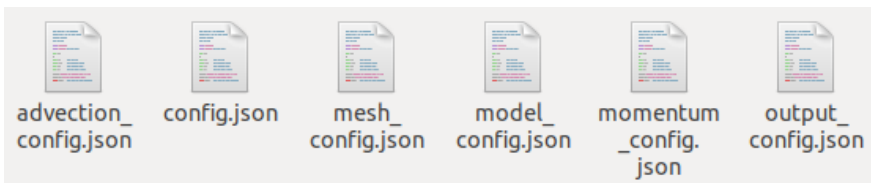
$$H(0, x, y) = H^0(x, y) := 0.3 \text{ m} + 0.005 \text{ m} \left(\sin(6 \cdot 10^{-5} x) + \sin(3 \cdot 10^{-5} y) \right), \quad (15)$$

where x, y are given in meters. At the boundary of the domain we apply a no-slip condition for the velocity, i.e.

$$\mathbf{v} = 0 \text{ on } \partial\Omega. \quad (16)$$

Как конфигурировать модель?

mesh_config.json



```
{
  "mesh": "/data90t/geosci/spetrov/DYNAMICS_TEST/SQUARE_GRIDGEN/MESHES/pmf/square2km.pmf",
  "surface type": "plane",
  "coords type": "Cartesian2D"
}
```

config.json

```
{
  "mesh params": "/data90t/geosci/spetrov/DYNAMICS_TEST_NEW/configs/mesh_config.json",
  "model params": "/data90t/geosci/spetrov/DYNAMICS_TEST_NEW/configs/model_config.json",
  "advection params": "/data90t/geosci/spetrov/DYNAMICS_TEST_NEW/configs/advection_config.json",
  "output params": "/data90t/geosci/spetrov/DYNAMICS_TEST_NEW/configs/output_config.json",
  "momentum params": "/data90t/geosci/spetrov/DYNAMICS_TEST_NEW/configs/momentum_config.json"
}
```

model_config.json

```
{
  "time step (h)": 0.0333333,
  "total time (h)": 48.0,
  "gravity acceleration (m/s^2)": 9.8,
  "water density (kg/m^3)": 1026.0,
  "air density (kg/m^3)": 1.3,
  "ice density (kg/m^3)": 900.0,
  "water-ice drag coefficient": 0.0055,
  "air-ice drag coefficient": 0.0012,
  "pressure coefficient": 20.0,
  "pressure star coefficient (Pa)": 27500.0,
  "stress ellipse eccentricity": 2.0,
  "minimal delta (1/s)": 0.000000002,
  "Coriolis parameter (1/s)": 0.000146,
  "minimal concentration": 0.000001
}
```

output_config.json

```
{
  "pvtu output directory": "/data90t/geosci/spetrov/DYNAMICS_TEST_NEW/build/screenshots2km/",
  "every nth screenshot": 1,
  "verbose output": true,
  "displayed variables": [
    "ice mass",
    "ice height",
    "ice concentration",
    "ice velocity",
    "ice pressure",
    "air velocity",
    "water velocity",
    "water level"
  ]
}
```

momentum_config.json

```
{
  "mEVP": {
    "alpha": 500.0,
    "beta": 500.0,
    "number of iterations": 100
  },
  "boundary conditions": "no-slip"
}
```

advection_config.json

```
{
  "type": "TG2",
  "is fct": true,
  "fct cd": 0.5
}
```

Как запускать модель?

На кластере ИВМ РАН используется система очередей slurm.

launcher.qs

```
#!/bin/bash
#SBATCH --job-name=lkf_test
#SBATCH --ntasks=32
#SBATCH --time=12:00:00
#SBATCH --partition=x20core
#SBATCH --reservation=sirius

mpirun ./DYNAMICS_TESTS ./config.json > ./output.txt
```

- ← Название задачи
- ← Количество ядер
- ← Максимальное время исполнения
- ← Очередь (для всех вычислений используйте x20core)
- ← Для школы зарезервированы все 800 ядер очереди x20core
- ← Запускаем MPI задачу с конфигурационным файлом config.json
Вывод в файл output.txt

Чтобы запустить MPI задачу, необходимо собрать код, настроить конфигурационный файл (**config.json**), файл запуска (**launcher.qs**) и запустить задачу в очередь **sbatch launcher.qs**.

Посмотреть статус задачи можно написав команду **slurmtop**. Чтобы отменить выполнение задачи можно прописать **scancel + номер задачи, который выдается при запуске**

Практическое задание

Вам дан параллельный код, реализующий численное решение системы уравнений динамики морского льда с вязко-пластичной реологией.

- 1) Реализуйте недостающий метод `void MomentumSolver::UpdateTemporalVelocity()`, находящийся в `Momentum/momentum.cpp`;
- 2) Реализуйте недостающий метод `void MomentumSolver::UpdateTemporalSigma()`, находящийся в `Momentum/momentum.cpp`;
- 3) Запустите расчет модели при различных параметрах `alpha` (25, 50, 100, 200, 500, 1000). Сделайте вывод о качестве получаемых LKF;
- 4) Поймите, влияет ли схема переноса на качество получаемых LKF?;
- 5) Выясните, влияет ли разрешение сетки на качество получаемых LKF? (проведите расчет на сетках с разрешениями 2km, 4km, 8km, постройте картинки);
- 6) С помощью ParaView сделайте анимацию (.avi затем переведите в .gif) эволюции полей сплоченности и деформации сдвига.