



Перспективная модель Мирового Океана INMoscap как часть Национальной модели Земной системы

Николай Яковлев
ИВМ РАН, г. Москва, nick_yakovlev@mail.ru



Национальная система мониторинга климатически активных веществ: проблемы и
решения.

Параллельная секция № 1: «Климатическая система», подсекция «Климат Земли»
2 ноября 2023 г., Москва.



Мотивация

Рабочая версия модели Мирового океана INMOM развивалась с 1974 по 2009 гг. (Марчук Г.И., Залесный В.Б., Алексеев В.В., Багно А.В., Русаков А.С., Дианский Н.А., Гусев А.В., Яковлев Н.Г. - морской лед)

Ключевой вклад в развитие совместной модели - Володин Е.М.

Все это позволяло оставаться в «клубе высоких технологий» (© акад. В.П. Дымников).

Появилась необходимость пересмотреть формулировку задачи, численные методы, программную реализацию, набор физических и квазифизических параметризаций, учитывая мировой опыт моделирования океана и морского льда.

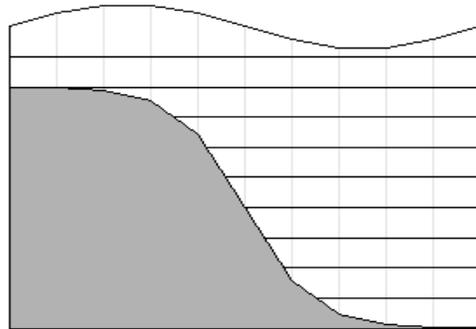
Структура программы должна соответствовать новым требованиям к Национальной модели Земной системы и ее компонентам (модульность, удобство пользователей и разработчиков, возможность реализации на различных вычислительных архитектурах, документация).

Задача: Остаться в клубе высоких технологий.



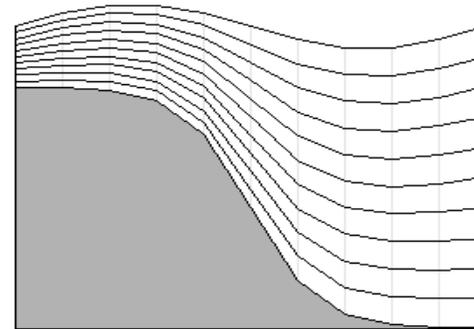
INMOM - Выбор вертикальной координаты σ

free surface z-model



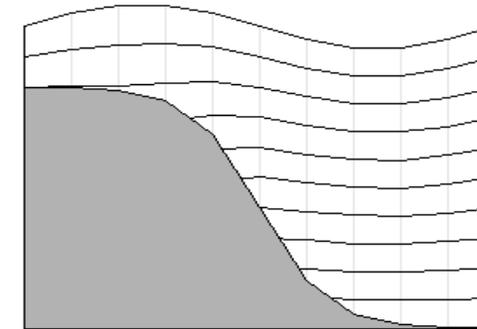
- Partial step topography
- Trivial pressure gradient errors
- Decades of experience
- Well known limitations
- Irregular and variable computational domain (i.e., land/sea masks and vanishing surface layer)

$$\sigma = (z - \eta) / (H + \eta)$$



- Terrain following σ -model
- Smooth topography
- Regular computational domain (no land/sea masks)
- Time independent computational domain (-1 < sigma < 0)
- Pressure gradient errors: requires topography filters
- Difficult neutral physics implementation: not commonly done in sigma-models

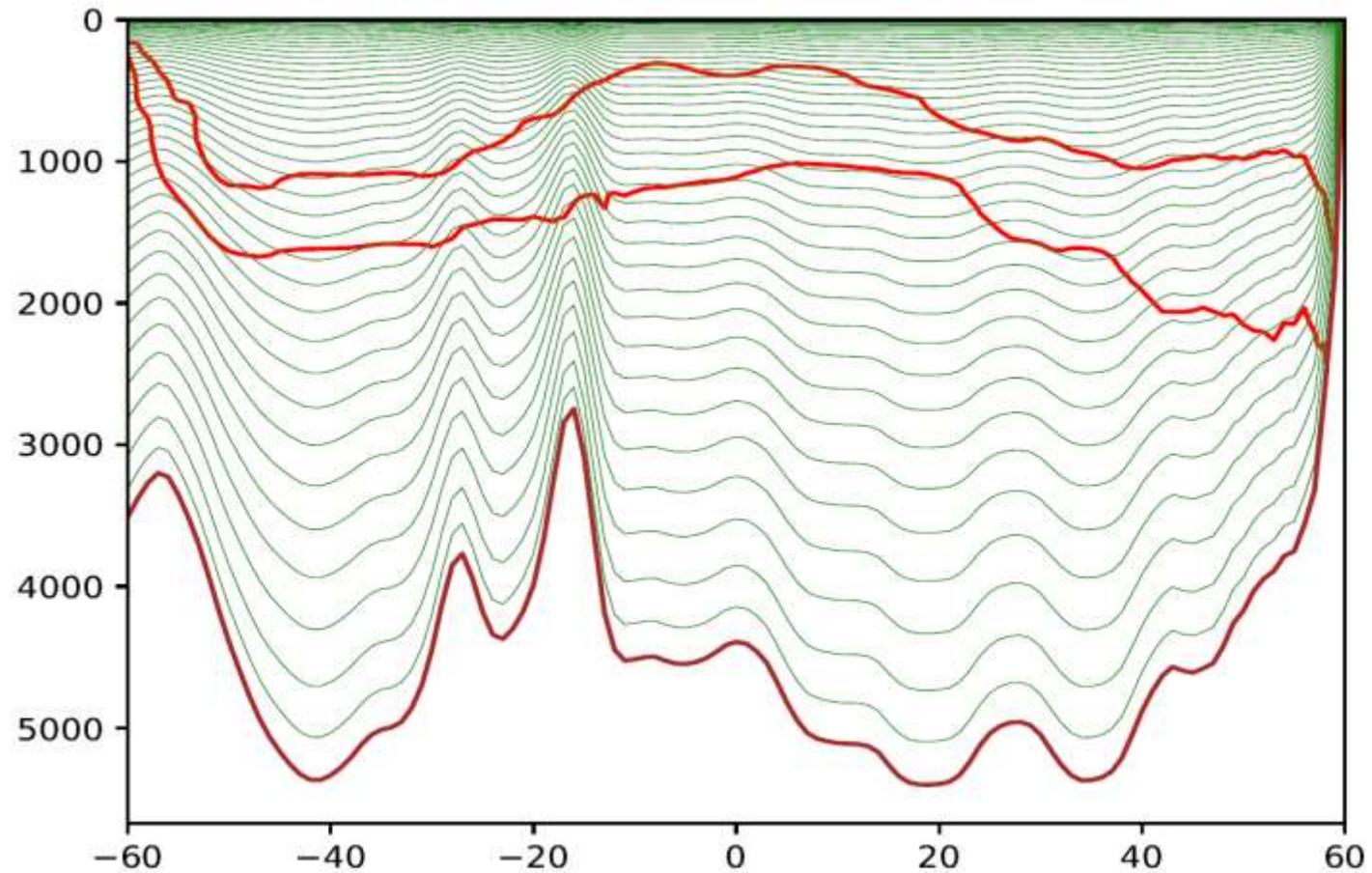
$$z^* = H(z - \eta) / (H + \eta)$$



- Irregular computational domain (i.e., land/sea masks needed)
- Time independent computational domain (-H < z* < 0): no vanishing layers.
- Negligible pressure gradient errors since isosurfaces are quasi-horizontal. Correspondingly, can use the same neutral physics technology as in z-models.



Аппроксимация изопикнической диффузии скаляров (температура, соленость, химические и биологические переменные) на примере новой версии модели ИВМ РАН





Классическая формулировка

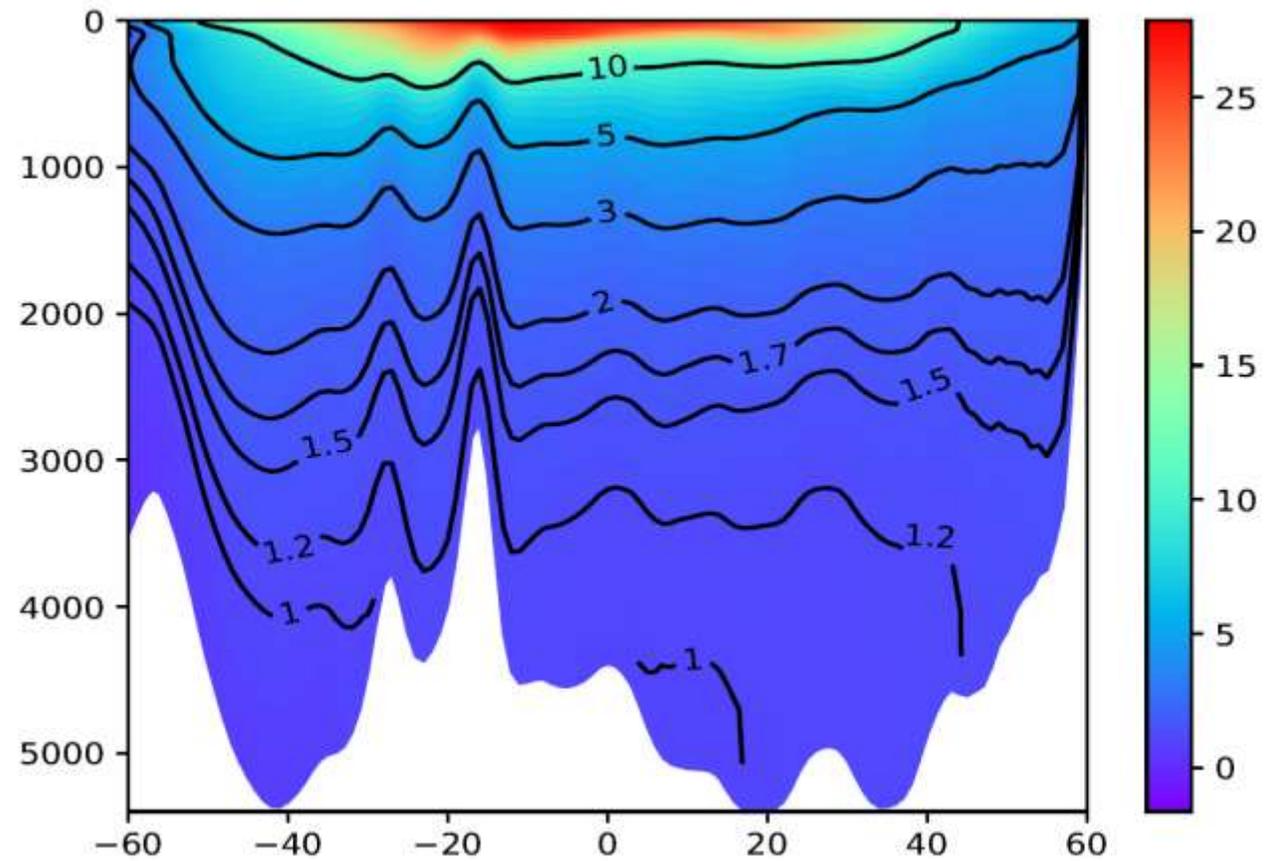
$$\nabla_{\text{iso}} C = K_{\text{Redi}} \nabla C$$

$$K_{\text{Redi}} = \frac{K_I}{(1 + R^2)} \times \begin{pmatrix} 1 + R_y^2 + \varepsilon R_x^2 & (\varepsilon - 1)R_x S_y & (1 - \varepsilon)R_x \\ (\varepsilon - 1)R_x S_y & 1 + R_x^2 + \varepsilon R_y^2 & (1 - \varepsilon)R_y \\ (1 - \varepsilon)R_x & (1 - \varepsilon)R_y & \varepsilon + R^2 \end{pmatrix}$$

$$K_{\text{Redi}}^{\text{small}} = K_I \times \begin{pmatrix} 1 & 0 & R_x \\ 0 & 1 & R_y \\ R_x & R_y & \varepsilon + R^2 \end{pmatrix}$$

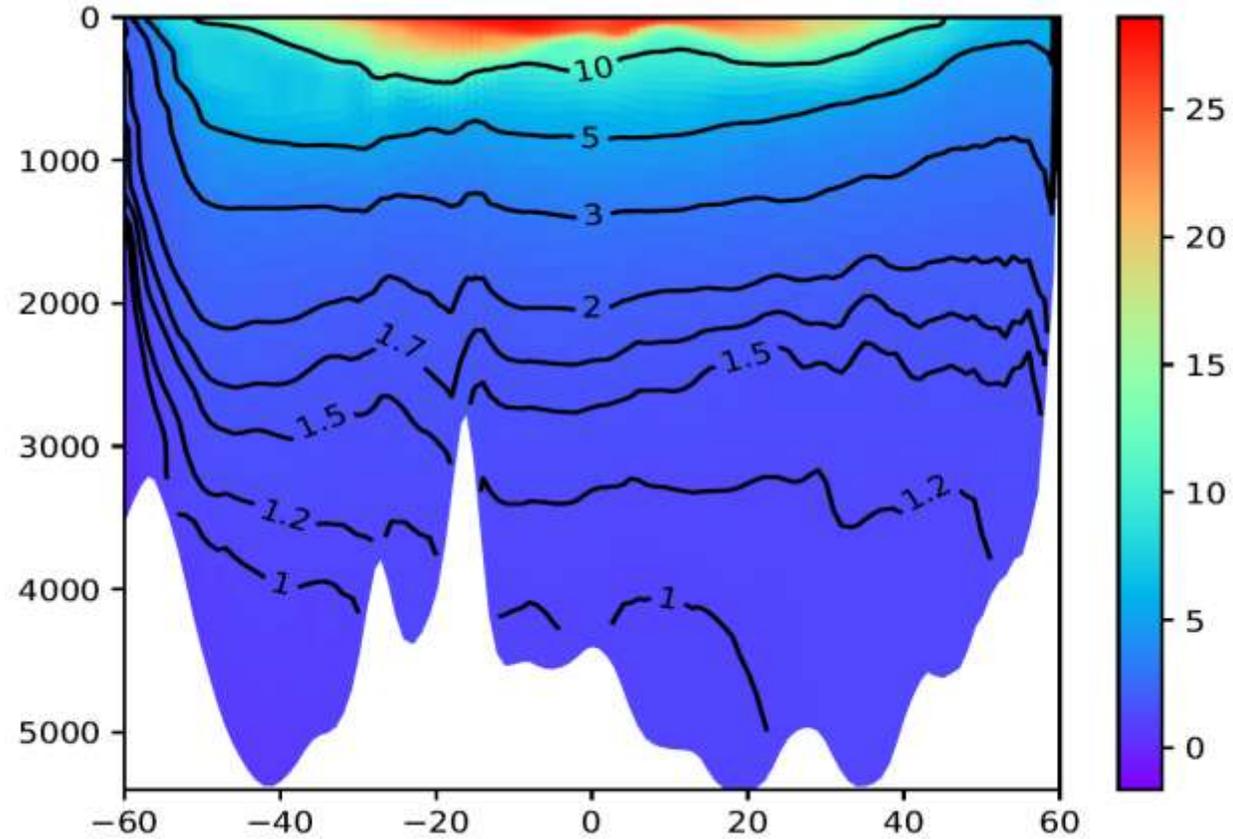


Классическая формулировка - отпечаток сетки над особенностями рельефа





Неклассическая нелокальная аппроксимация





К ноябрю 2023 года внесены критически важные изменения в исходный код. Можно говорить о новой сущности:

Модель Мирового океана INMoscap.

К концу 2024 года будут сделаны многочисленные изменения в блоки океана и морского льда (эволюционное развитие):

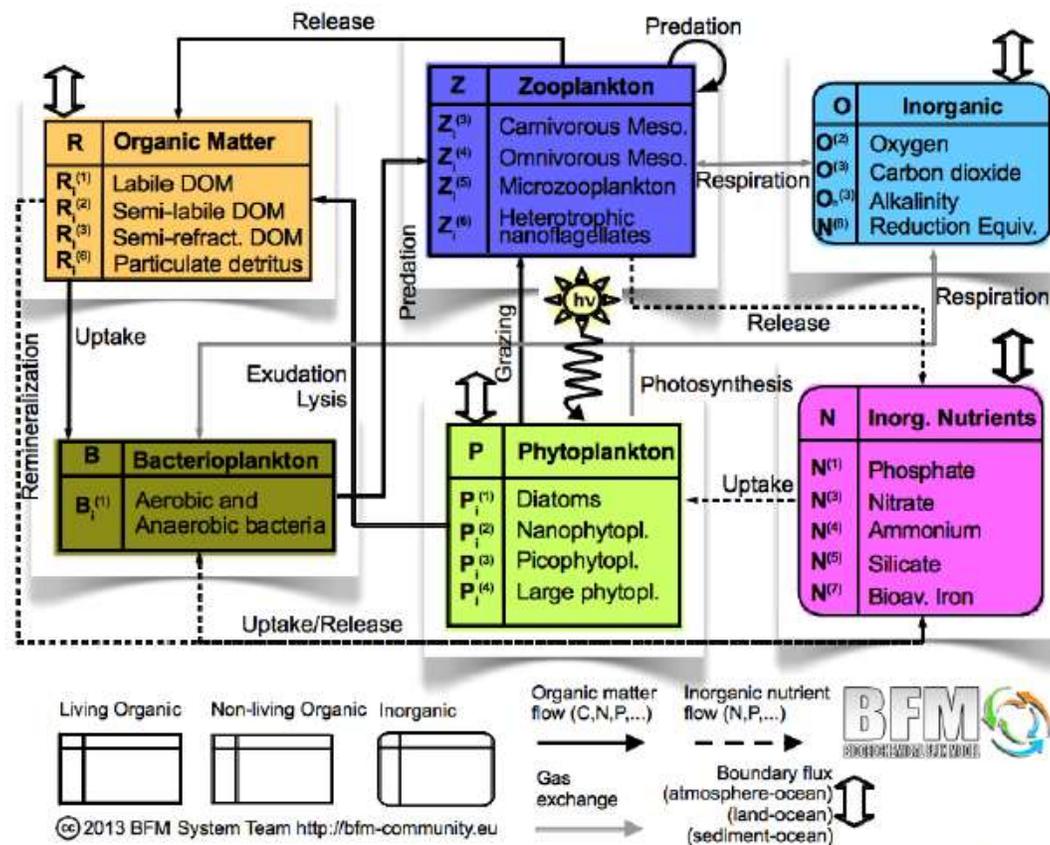
- квазимонотонные схемы переноса скаляров,
- переход к многокатегорийному многоуровенному льду,
- современные параметризации вертикального и горизонтального турбулентного обмена,
- альbedo поверхности океана, ...



+ Модель биохимии океана BFM (адаптирована И.А. Черновым, КарНЦ РАН)



Multivorous food-web and components





Крайне важно ввести набор
«Квазифизических» параметризаций
(без уравнений в явном виде)

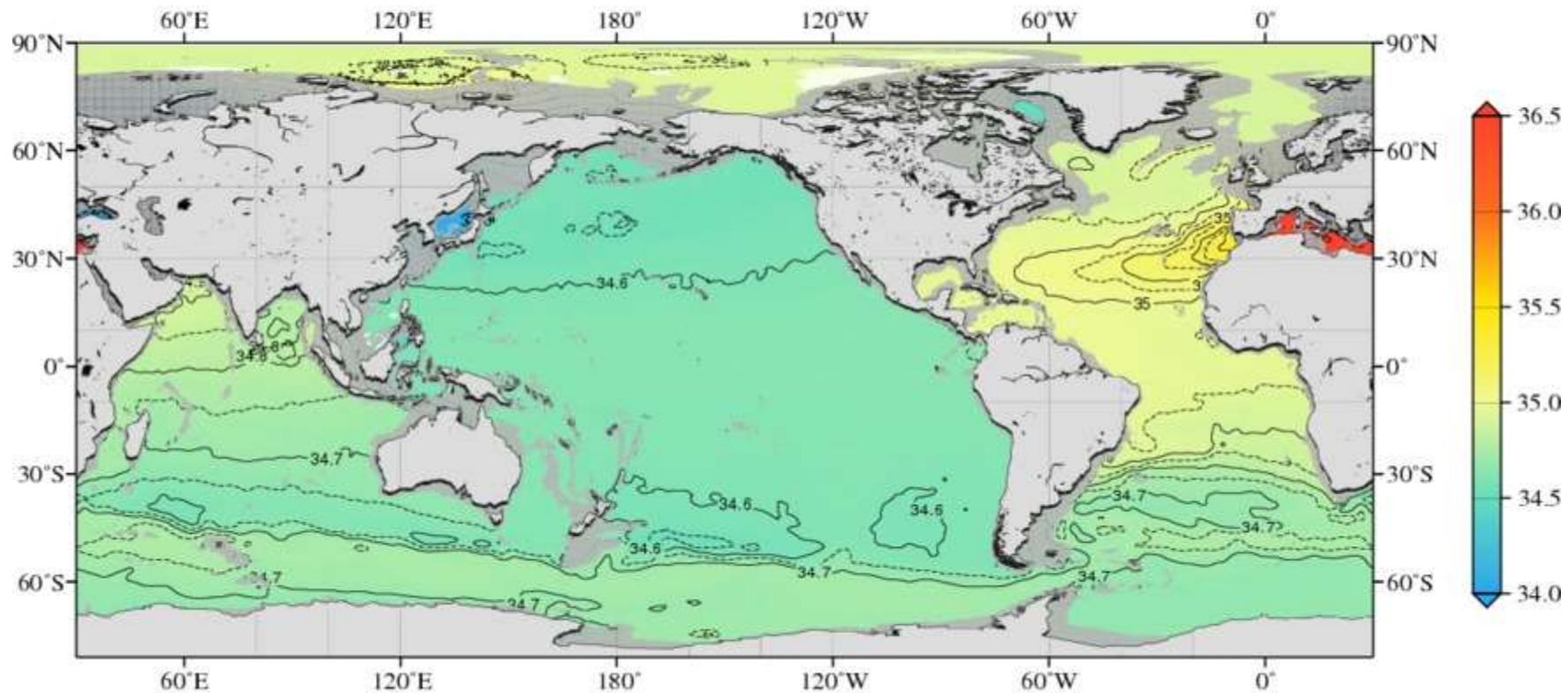
- Глубокая проникающая конвекция
- Конвекция вдоль склона
- Перетекание через подводные хребты (Датский пролив)
- Узкие проливы (пример - Гибралтарский пролив)
- Трещины в подводных хребтах
- Параметризация рек (пресная вода, тепло, биохимия)



World Ocean Atlas Climatology

Decadal average: 1955 - 2017

Contour Interval=0.05



Annual salinity at 1800 m. depth (quarter-degree grid)



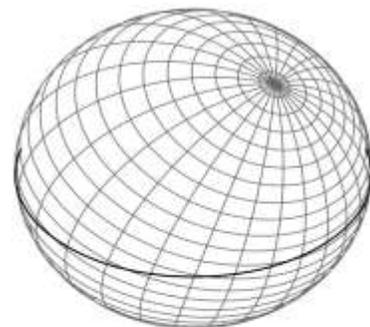
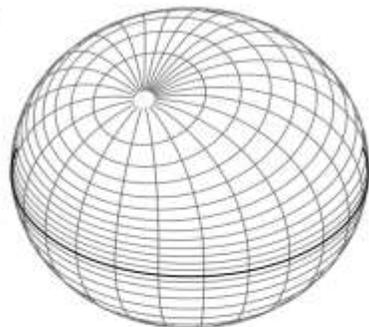
Требования к перспективной модели Мирового океана (2025-2030)

- Выбор обобщенной вертикальной координаты (ALE = Arbitrary Lagrangian-Eulerian).
- Использование схем по времени высокого порядка точности и уменьшение схемной вязкости.
- Формулировка с изменением объема жидкой воды в полной нелинейной постановке и численные схемы с выполнением законов сохранения.
- Использование более гибких сеток по горизонтали с возможностью вложения (В. Шашкин и Ко) или сгущения (В. Оноприенко) в выбранных районах.
- Реализация негидростатической версии - обсуждаемо.

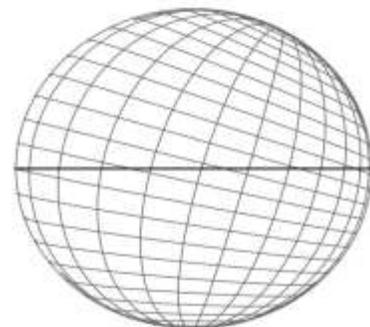
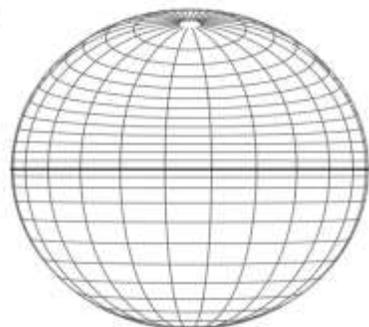


Перспективная
модель (сетка
Оноприенко В.А.)

а)

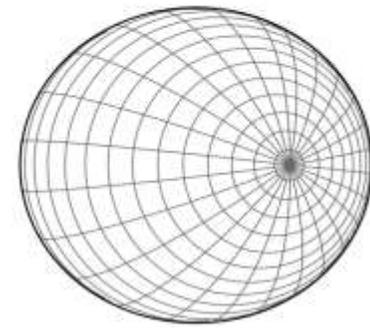
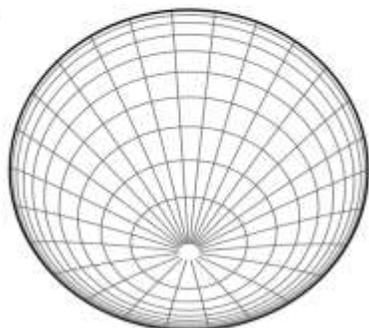


б)



Модель ИВМ
версия 6

в)



Благодарю за внимание!