

Трехмерные морфометрические модели рельефа дна Северного Ледовитого океана

И.В. Флоринский, С.В. Филиппов

*Институт математических проблем биологии РАН –
филиал Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН
Пушино*



Разработать систему трехмерного геоморфометрического моделирования и картографирования рельефа дна Северного Ледовитого океана.

Создать тестовую настольную систему трехмерного геоморфометрического моделирования и картографирования дна Северного Ледовитого океана (низкого разрешения).

Florinsky I.V., Filippov S.V., Abramova A.S., Zarayskaya Yu.A., Selezneva E.V.

Towards geomorphometric modelling of the topography of the Arctic Ocean floor

// Proceedings of the 7th International Conference on Cartography & GIS, June 18–23 2018, Sozopol, Bulgaria, Vol. 1.

Sofia: Bulgarian Cartographic Association, 2018, pp. 166-173.

Высота

Локальные величины

- Крутизна склона
- Ориентация склона
- Горизонтальная кривизна
- Вертикальная кривизна
- Средняя кривизна
- Гауссова кривизна
- Минимальная кривизна
- Максимальная кривизна
-

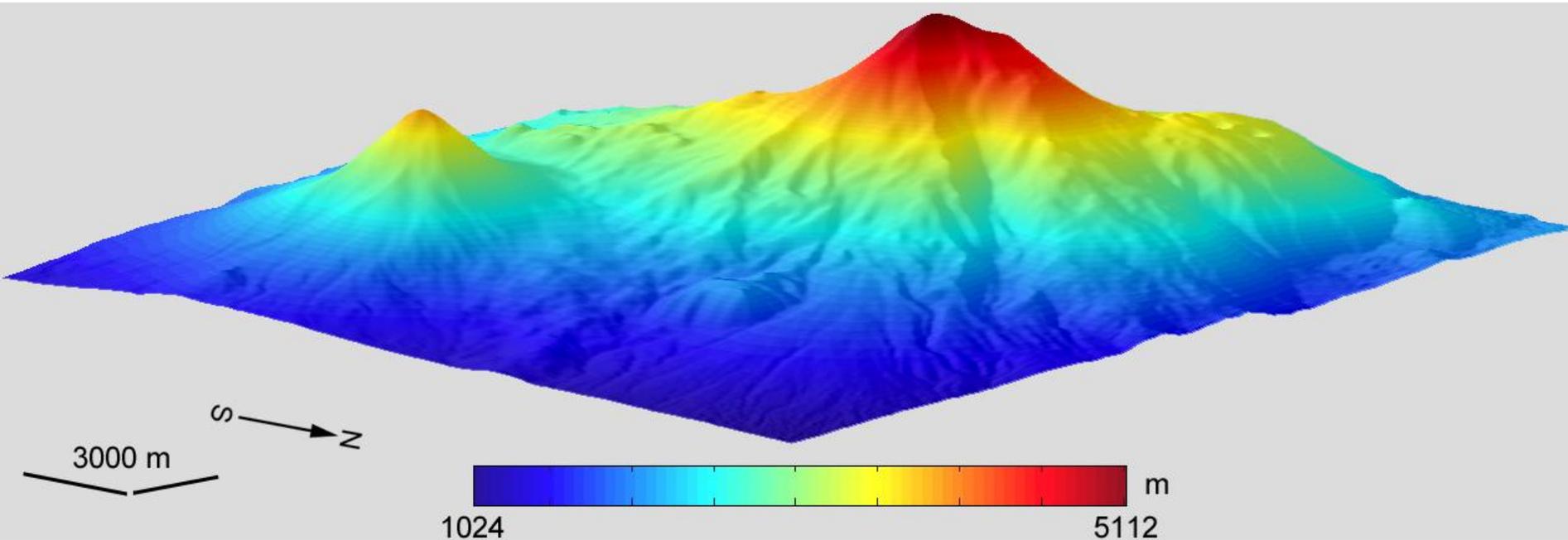
Нелокальные величины

- Водосборная площадь
- Дисперсивная площадь
-

Комбинированные величины

- Топографический индекс
- Индекс мощности потока
-

Высота – исходные данные для расчета морфометрических величин



Арарат
SRTM1
779 401 точек (матрица 1081×721), $w = 1''$

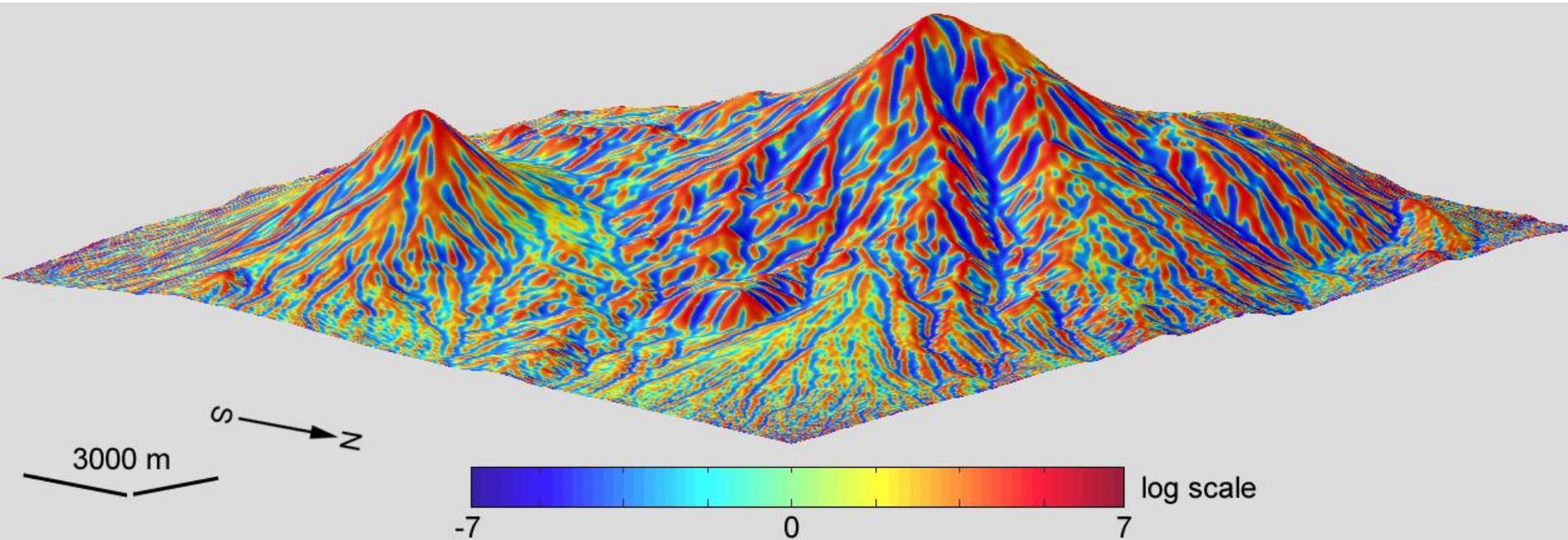
Универсальный спектрально-аналитический метод моделирования рельефа

300 коэффициентов разложения функции высоты по полиномам Чебышева

$$p = \frac{\partial z}{\partial x} \quad q = \frac{\partial z}{\partial y}$$

$$r = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \quad s = \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} \quad t = \frac{\partial^2 z}{\partial y^2}$$

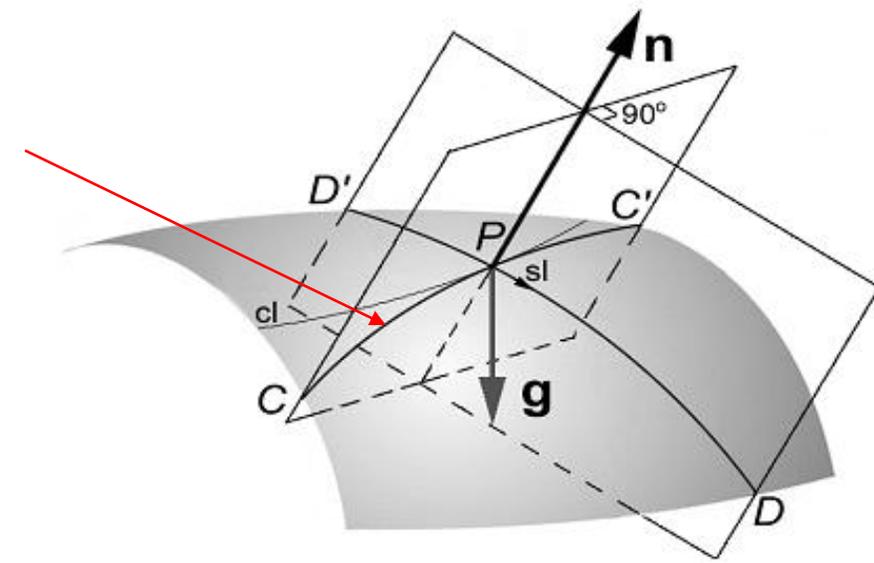
Горизонтальная кривизна



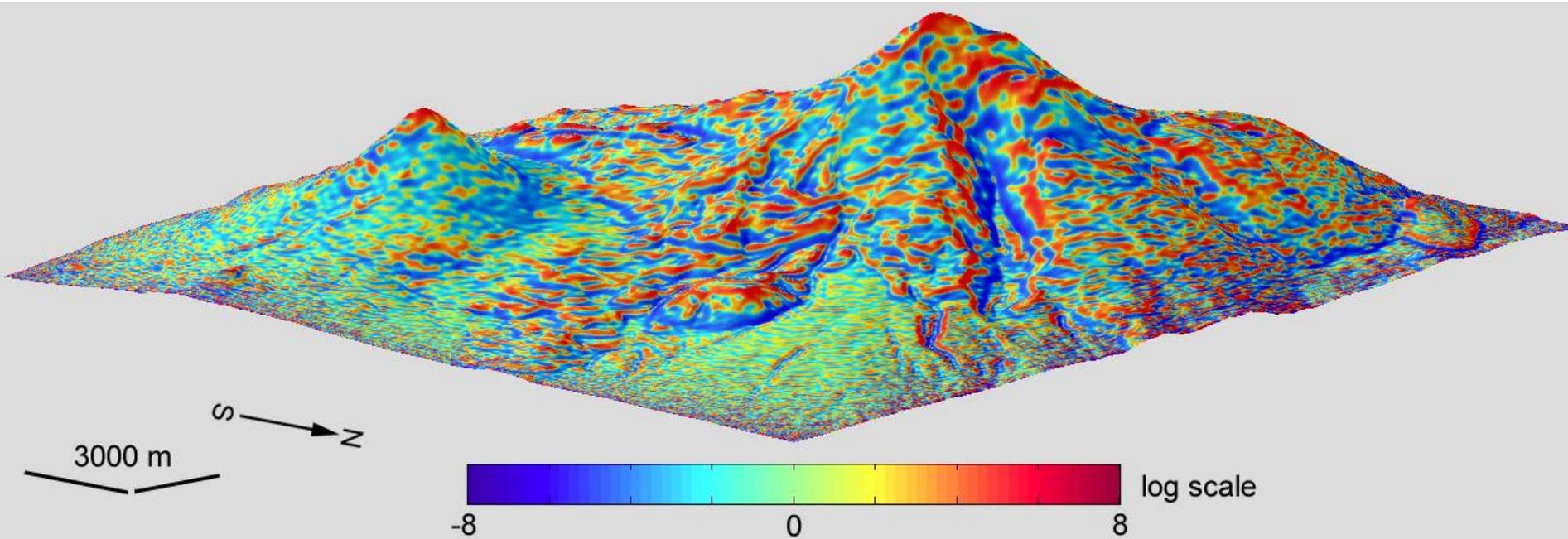
$$k_h = -\frac{q^2 r - 2 p q s + p^2 t}{(p^2 + q^2) \sqrt{1 + p^2 + q^2}}$$

Кривизна нормального сечения CC' , выделенного гравитацией, тангенциального горизонтали cl в данной точке P топографической поверхности.

Мера конвергенции потоков, перемещающихся вдоль поверхности под действием гравитации:
конвергируют при $k_h < 0$; дивергируют при $k_h > 0$.



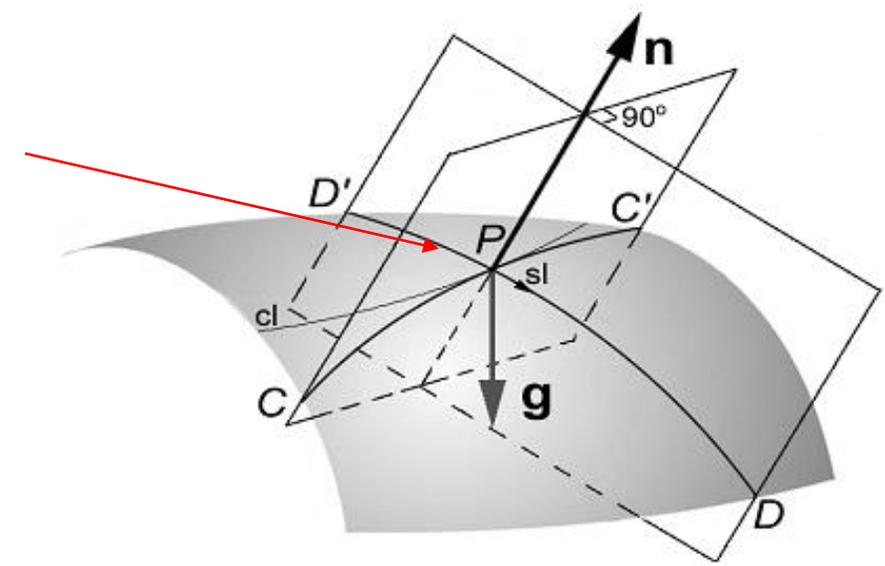
Вертикальная кривизна



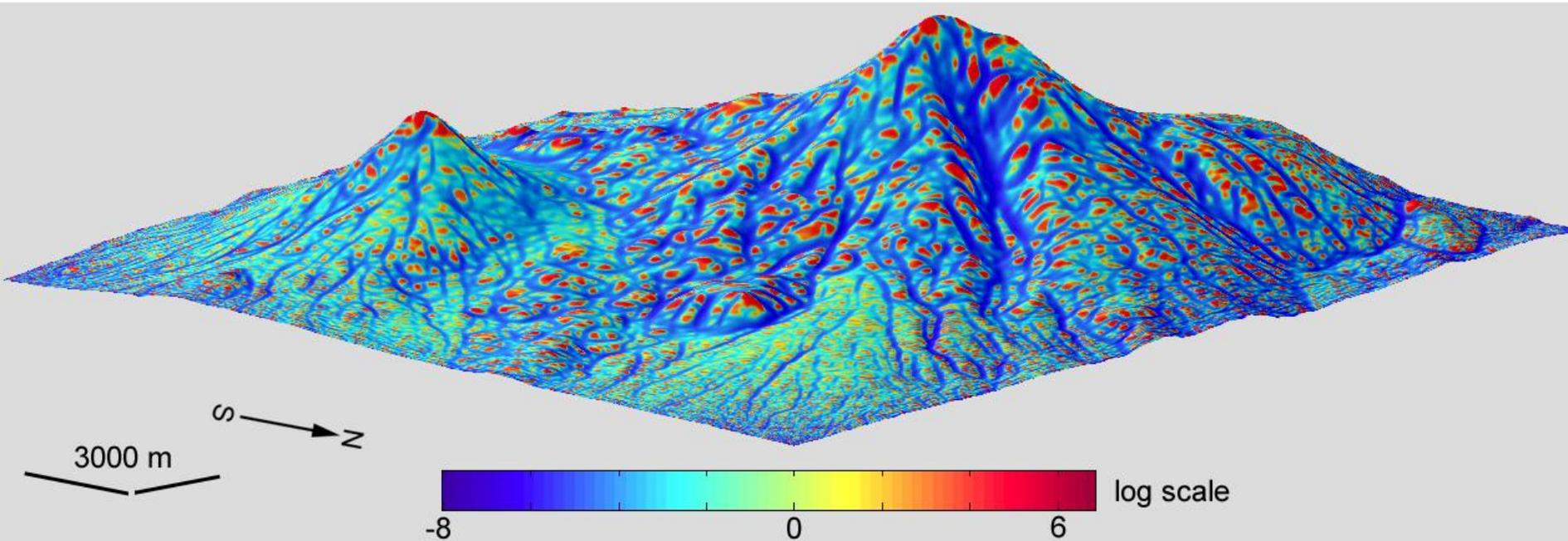
$$k_v = - \frac{p^2 r + 2 p q s + q^2 t}{(p^2 + q^2) \sqrt{(1 + p^2 + q^2)^3}}$$

Кривизна нормального сечения DD' , выделенного гравитацией, имеющего общую касательную с линией скольжения sl в данной точке P поверхности.

Мера относительного замедления потоков, перемещающихся вдоль поверхности под действием гравитации: замедляются при $k_v < 0$; ускоряются при $k_v > 0$.



Минимальная кривизна

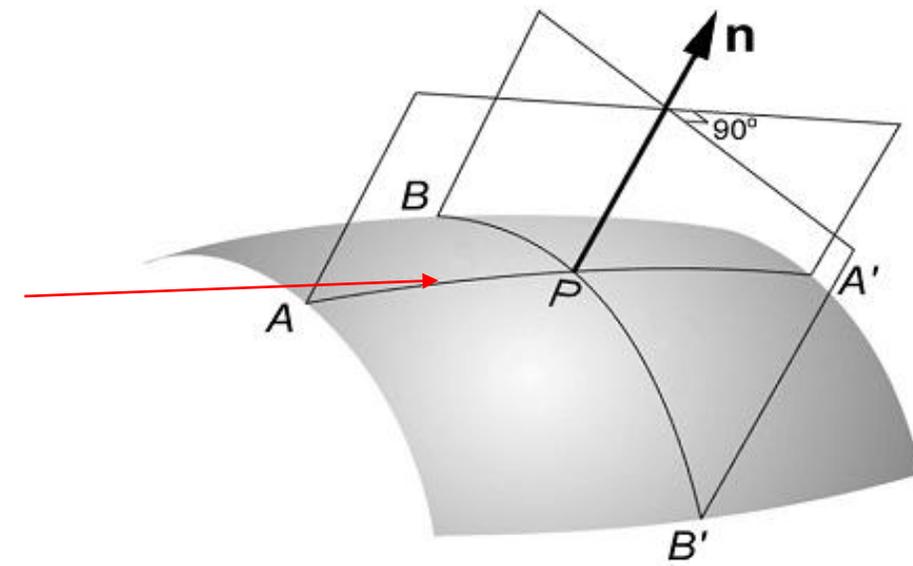


$$k_{\min} = H - \sqrt{H^2 - K}$$

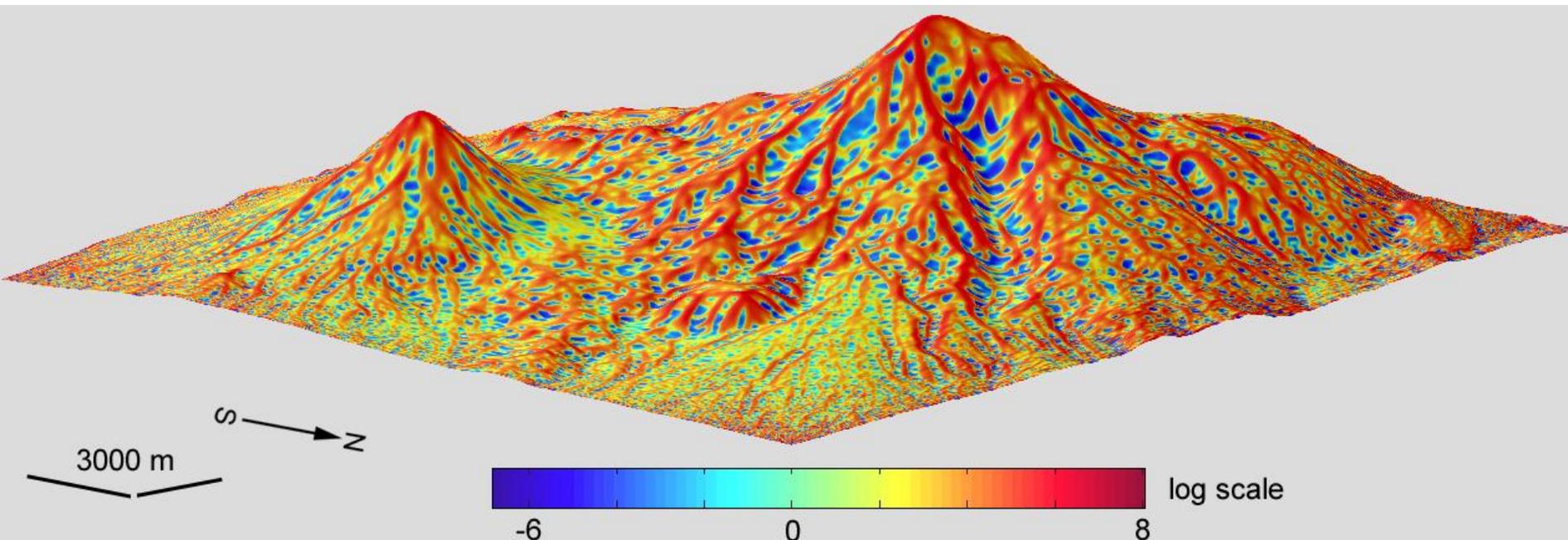
$$H = -\frac{(1+q^2)r - 2pqs + (1+p^2)t}{2\sqrt{(1+p^2+q^2)^3}} \quad K = \frac{rt - s^2}{(1+p^2+q^2)^2}$$

Кривизна главного нормального сечения AA' с минимальным изгибом в данной точке P топографической поверхности.

$k_{\min} > 0$ выделяют локальные выпуклые элементы рельефа; $k_{\min} < 0$ выделяют долины.



Максимальная кривизна

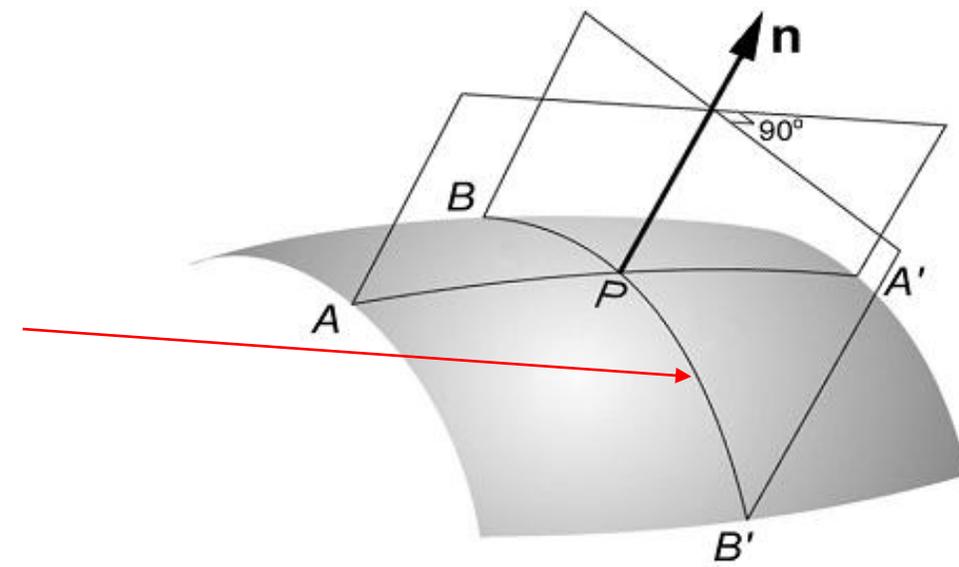


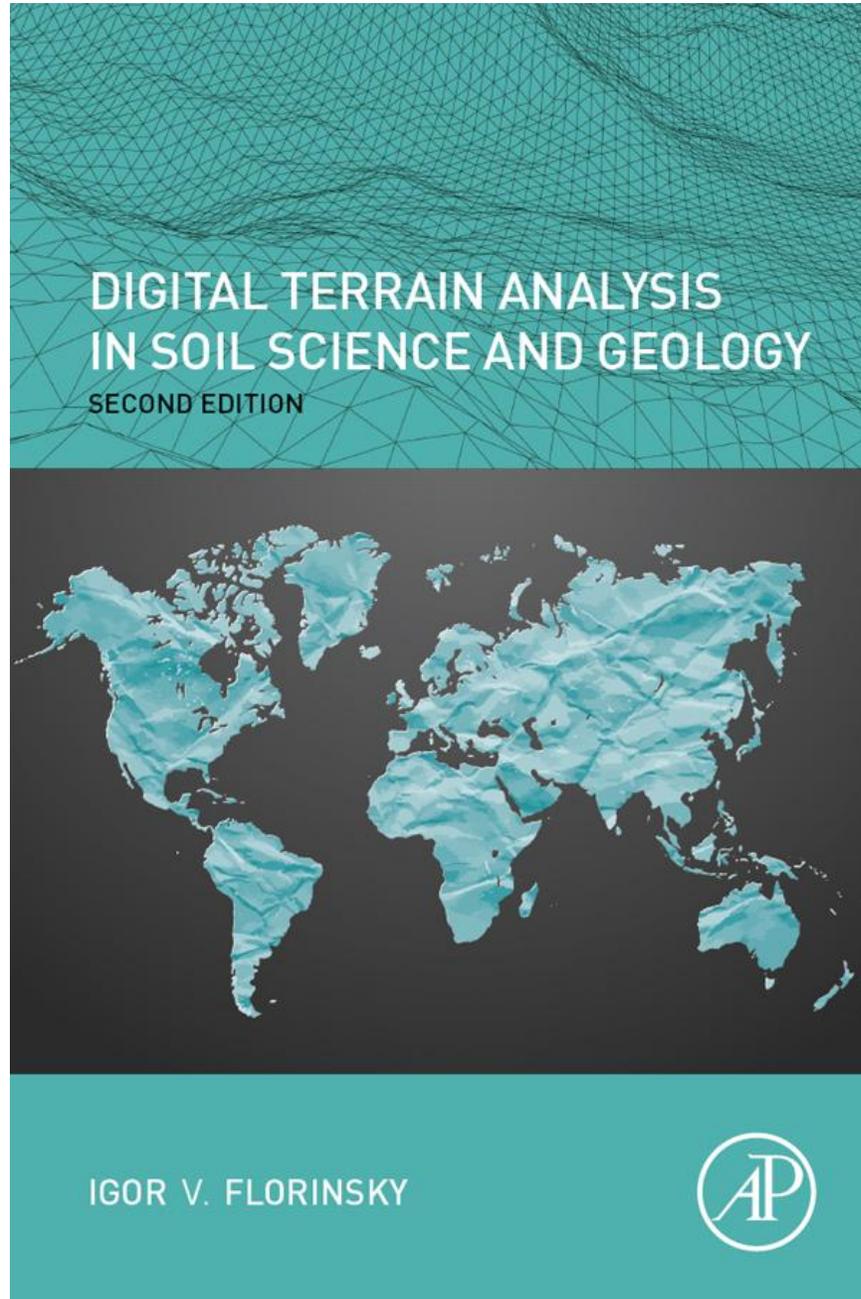
$$k_{\max} = H + \sqrt{H^2 - K}$$

$$H = -\frac{(1+q^2)r - 2pqs + (1+p^2)t}{2\sqrt{(1+p^2+q^2)^3}} \quad K = \frac{rt - s^2}{(1+p^2+q^2)^2}$$

Кривизна главного нормального сечения BB' с максимальным изгибом в данной точке P топографической поверхности.

$k_{\max} > 0$ выделяют хребты; $k_{\max} < 0$ выделяют локальные вогнутые элементы рельефа.





**DIGITAL TERRAIN ANALYSIS
IN SOIL SCIENCE AND GEOLOGY**
SECOND EDITION

**DIGITAL TERRAIN ANALYSIS
IN SOIL SCIENCE AND GEOLOGY**

2nd revised edition

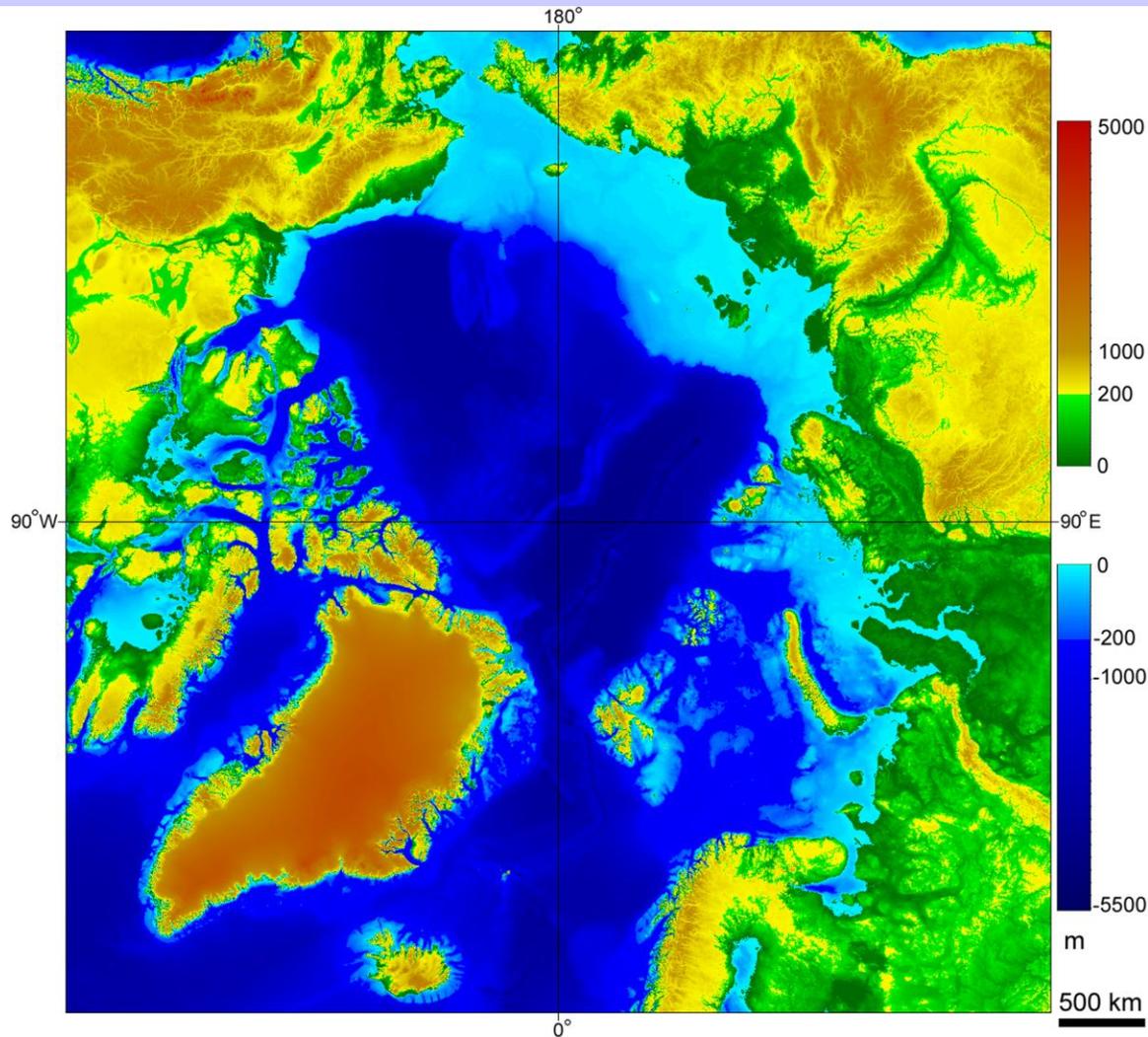
I.V. Florinsky

**Elsevier / Academic Press, 2016
Amsterdam, 486 p.**

ISBN 978-0-12-804632-6

Florinsky I.V. An illustrated introduction to general geomorphometry // *Progress in Physical Geography*, 2017, Vol. 41, No. 6, pp. 723-752.

Исходные данные



International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean ver. 3.0 (IBCAO 3.0)

Разрешение: 500 м
~ 135 000 000 точек

Тестовая ЦМР:

Разрешение : 5 км
1 347 921 точек (матрица 1161 × 1161)

Размеры: ~5800 км × ~5800 км
ГЛУБИНЫ / ВЫСОТЫ: -5520 м --- 5110 м

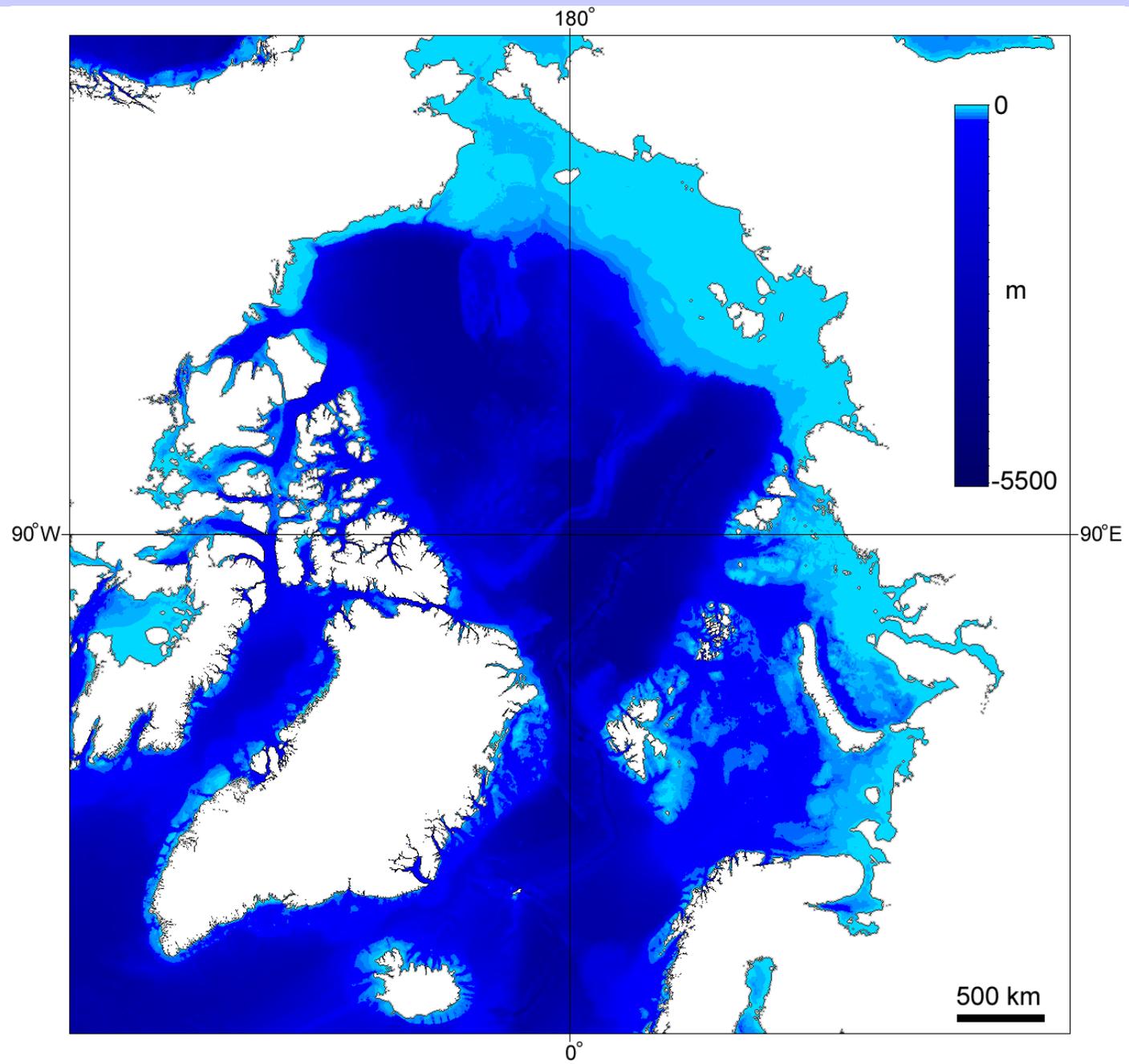
IBCAO, 2012. *IBCAO Version 3.0*. The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean,
<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/arctic/ibcaoversion3.html>

Jakobsson, M., et al. 2012. The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO)
Version 3.0. *Geophysical Research Letters* 39: L12609.

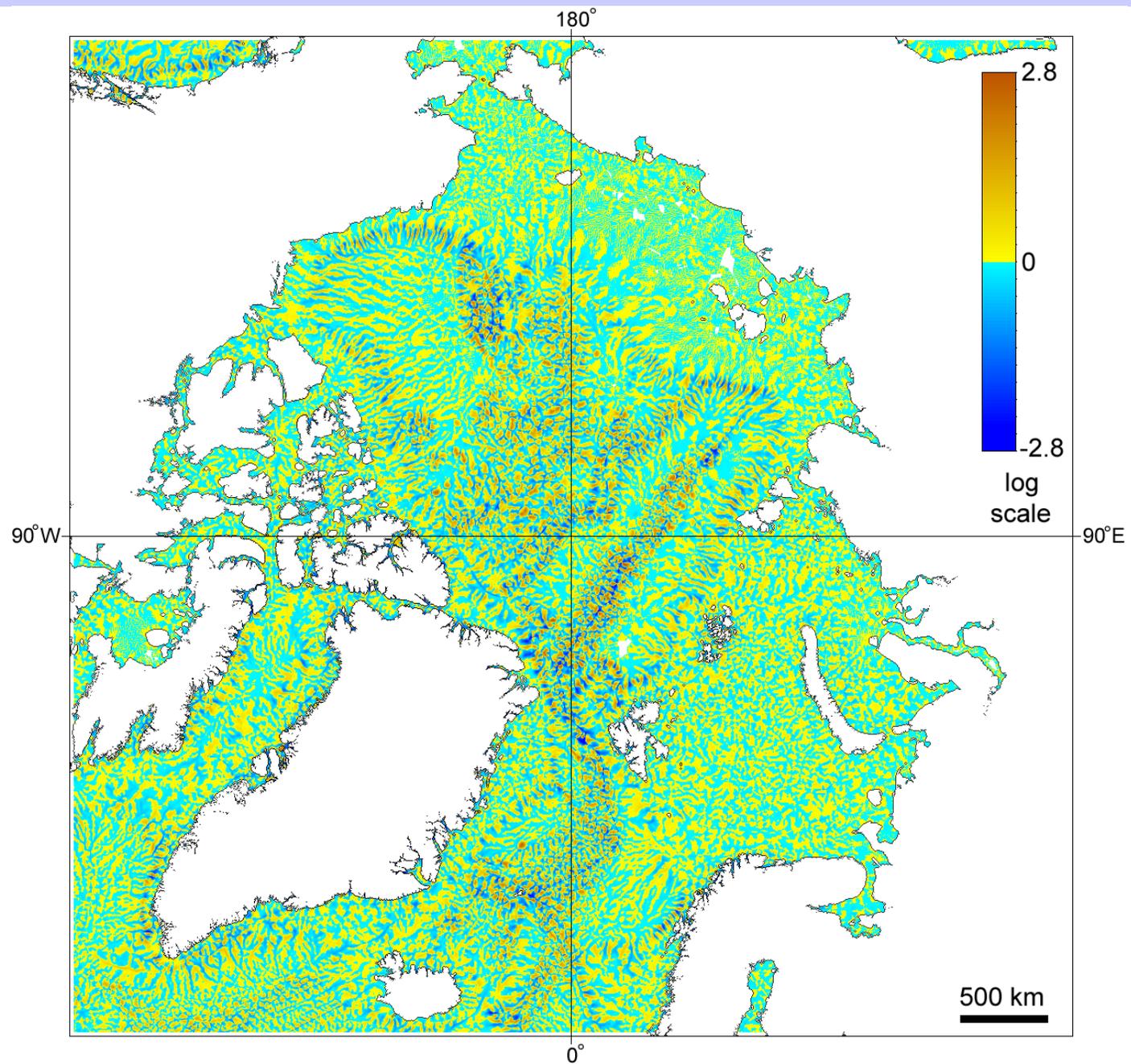
- Морфометрические вычисления: LandLord (Florinsky, 2012).
- 3D визуализация: Blender (<https://www.blender.org>).

Морфометрические карты / текстуры

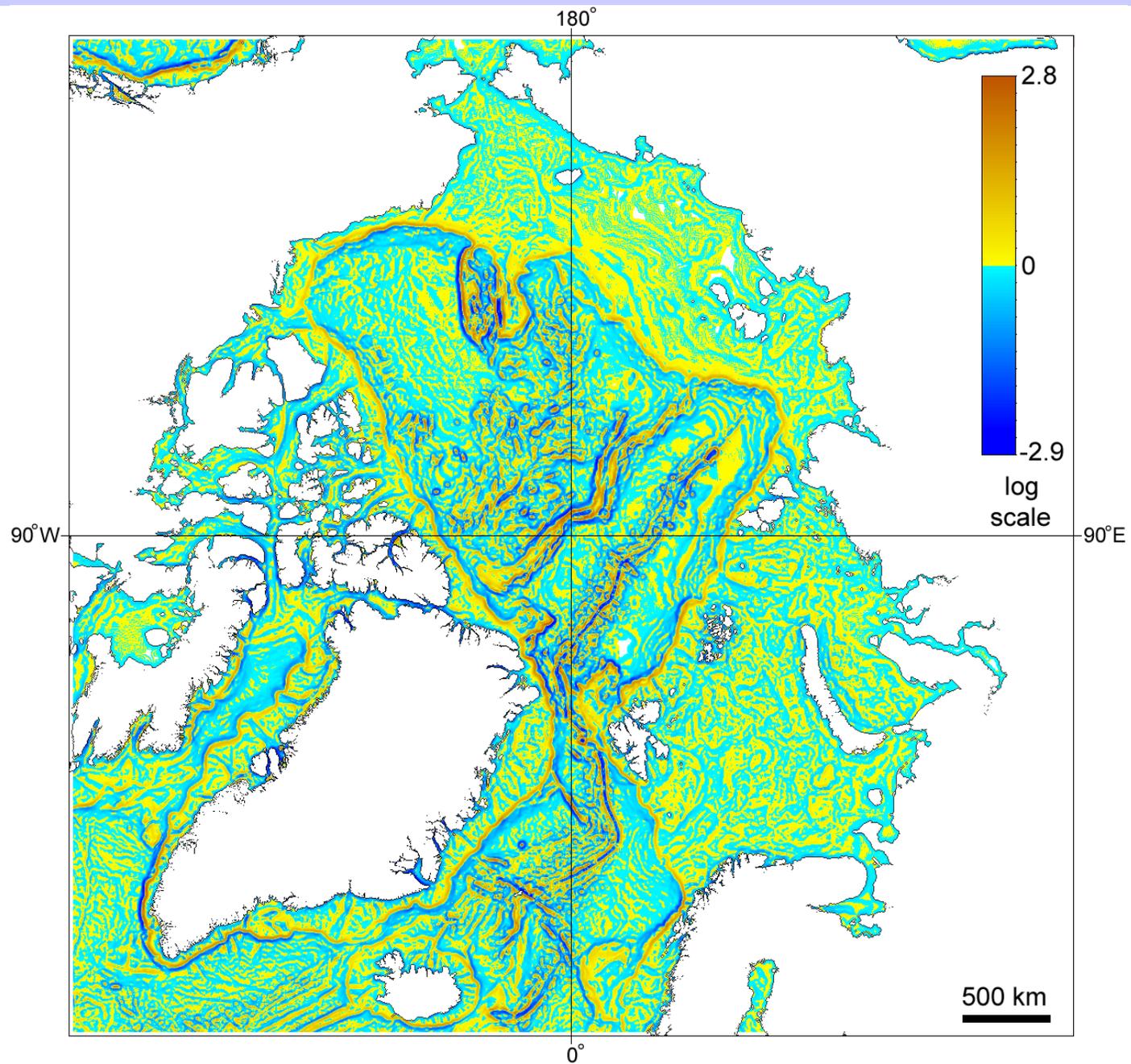
Глубина



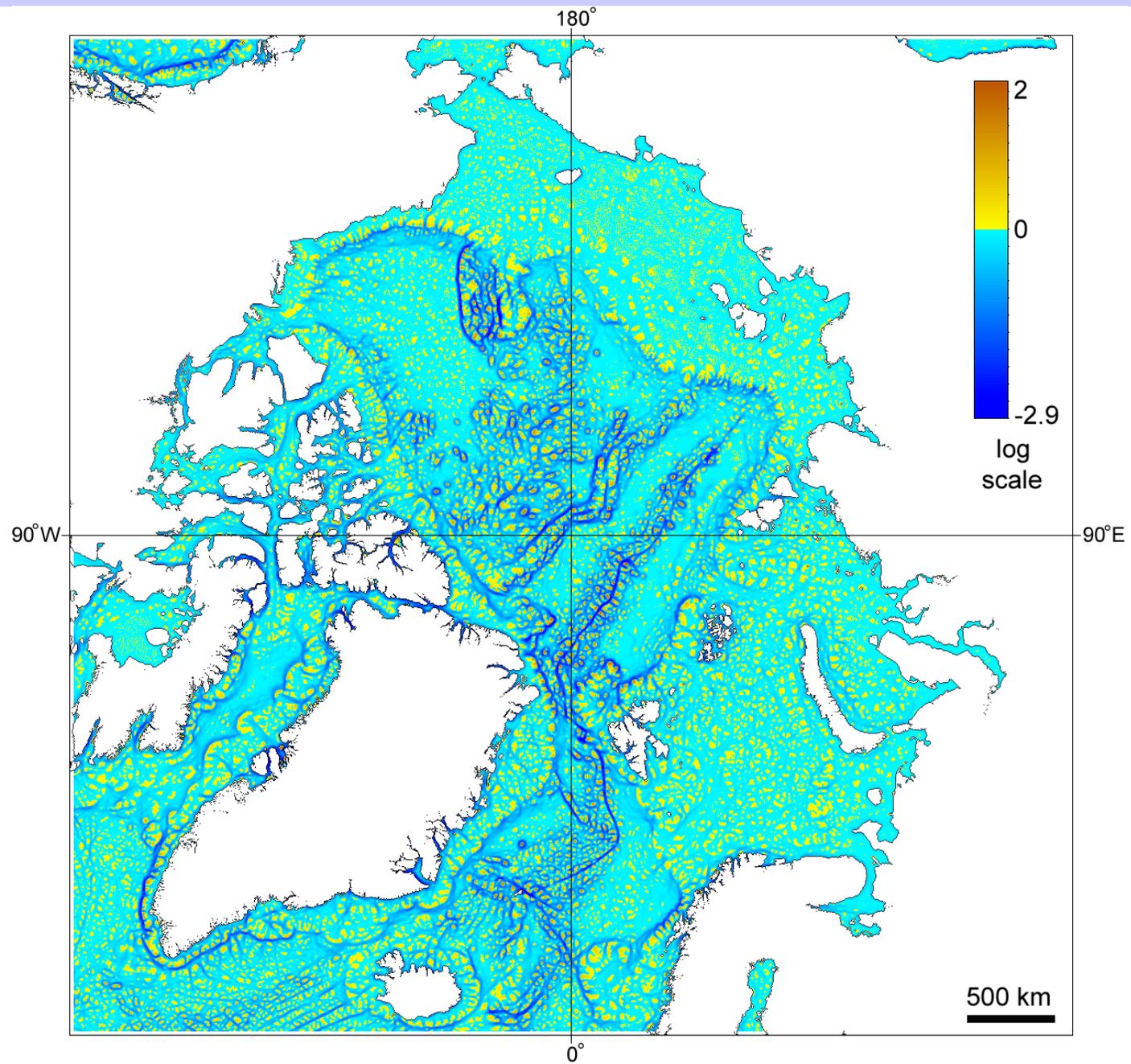
Горизонтальная кривизна



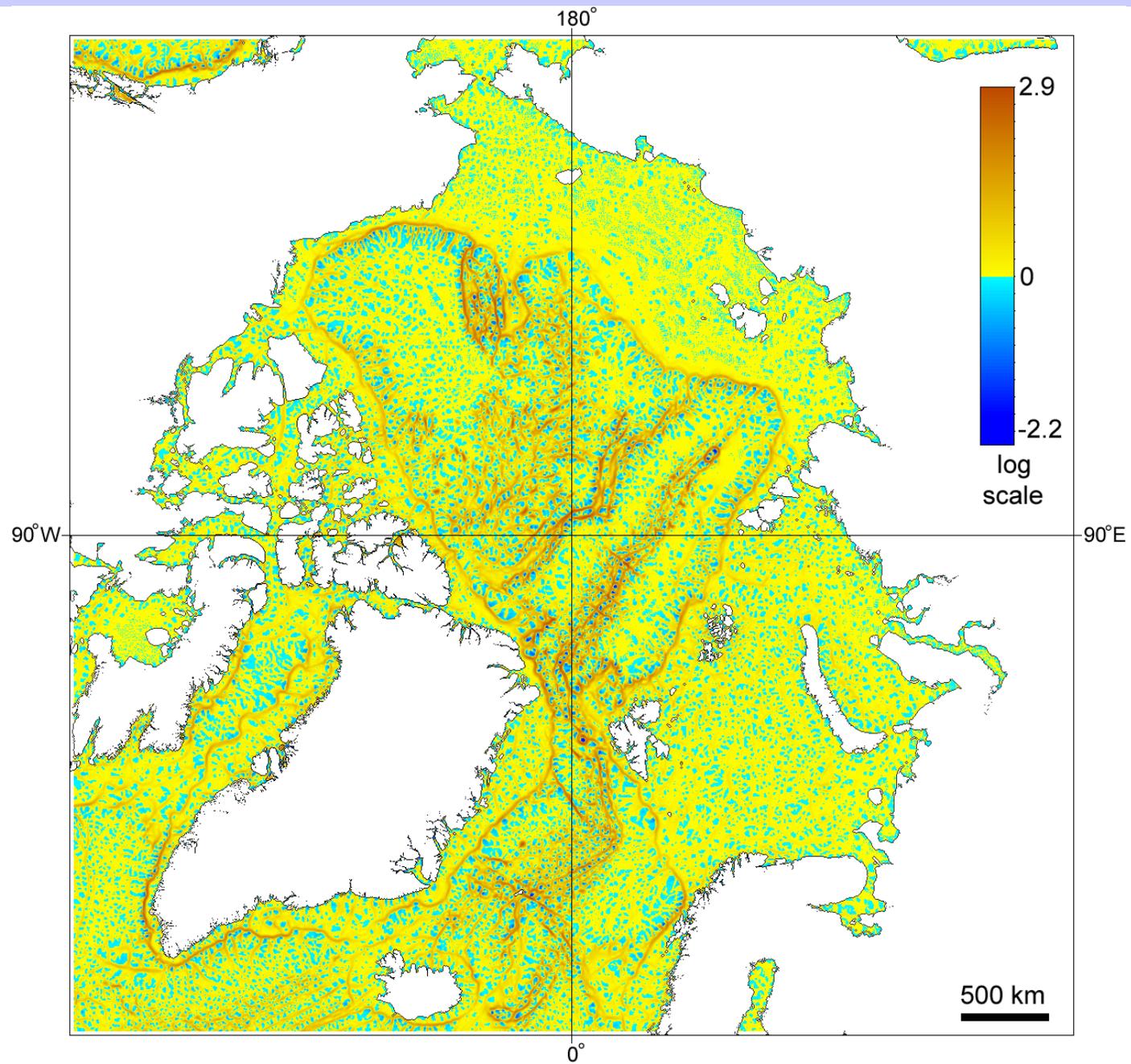
Вертикальная кривизна



Минимальная кривизна



Максимальная кривизна





Бесплатное программное обеспечение с открытым кодом, предназначенное для трехмерного моделирования, визуализации и анимации.

<https://www.blender.org>

Hess R. *Blender Foundations: The Essential Guide to Learning Blender 2.6*. Amsterdam: Focal Press, 2010, 404 p.

Blain J.M. *The Complete Guide to Blender Graphics: Computer Modeling and Animation*, 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2014, 575 p.

Kent B.R. *3D Scientific Visualization with Blender*[®]. San Rafael: Morgan & Claypool Publishers, 2015, 105 p.

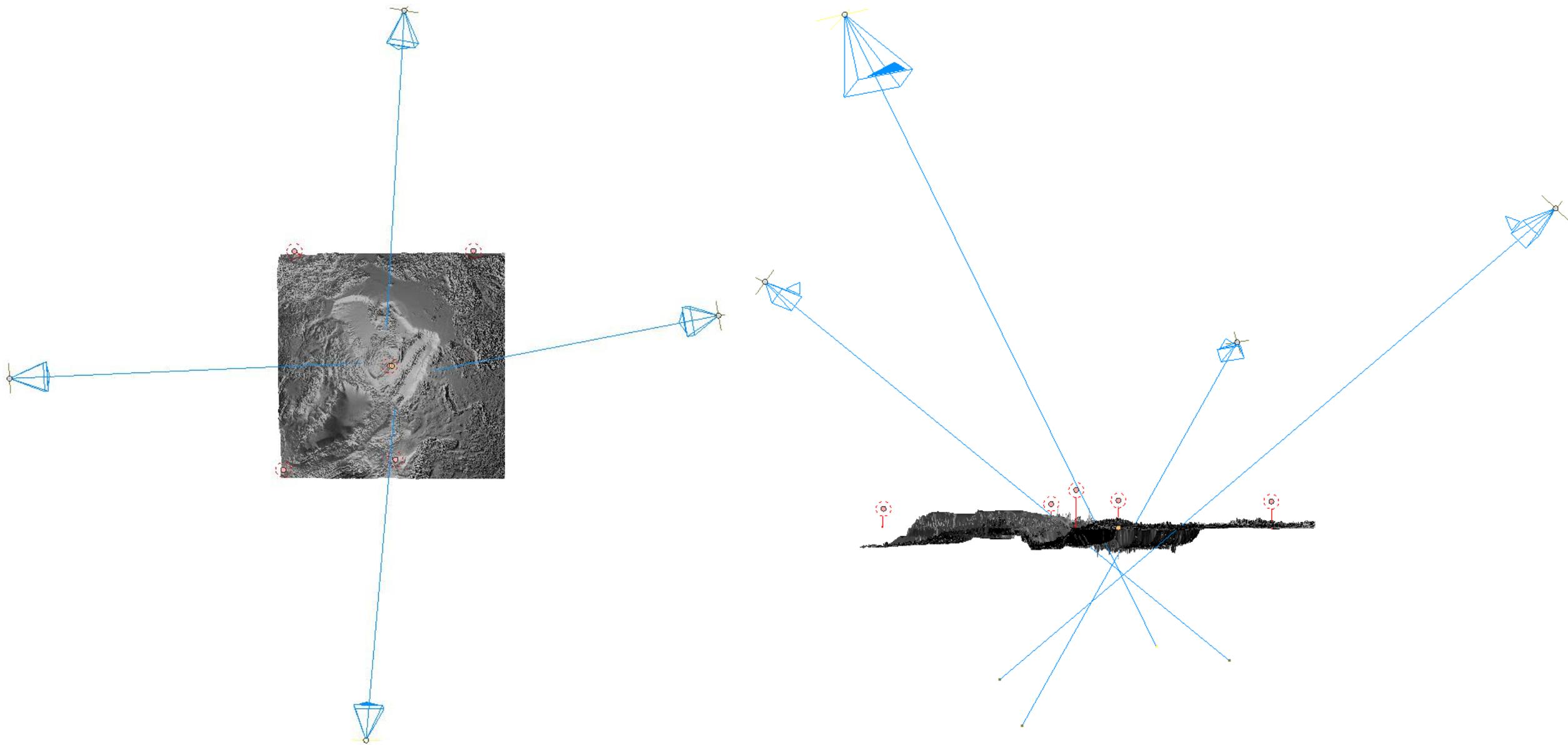
Филиппов С.В. Программная платформа Blender как среда моделирования объектов и процессов естественно-научных дисциплин // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша, 2018, № 230, 42 с.

1. Автоматическое создание полигонального объекта по ЦМР.
2. Выбор алгоритма моделирования 3D геометрии.
3. Выбор вертикального преувеличения масштаба.
4. Выбор типа, параметров, количества и расположения виртуальных источников освещения.
5. Выбор методов моделирования теней.
6. Выбор метода шейдинга 3D модели.
7. Выбор материала поверхности 3D модели.
8. Драпировка 3D модели текстурами.
9. Выбор количества и расположения виртуальных камер.
10. Рендеринг 3D модели.

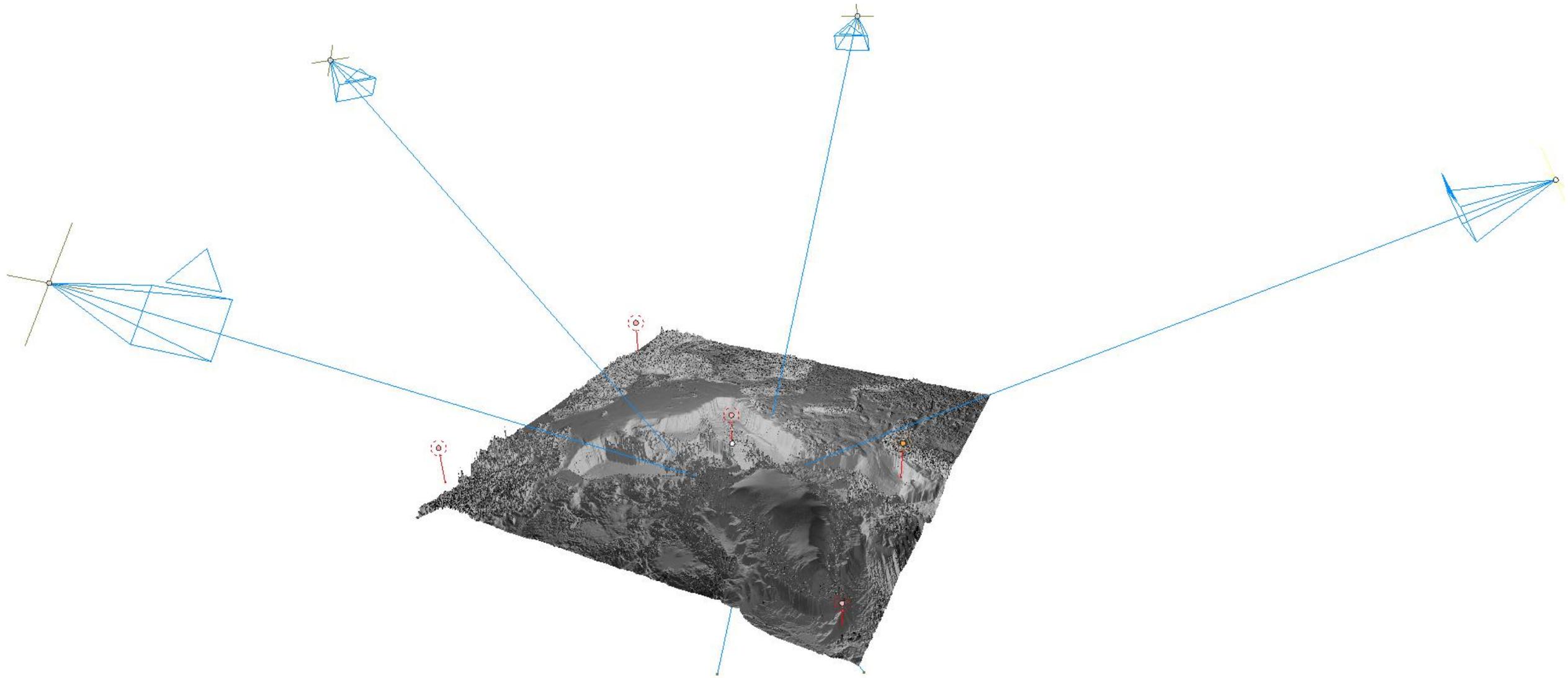
Использованные алгоритмы и параметры

- Моделирование 3D геометрии: алгоритм Кэтмелла–Кларка с двукратным разбиением граней и ребер.
- Преувеличение вертикального масштаба: 80^x .
- Освещение: 5 виртуальных точечных источников света различной интенсивности.
- Тени: отключены.
- Сглаживание дискретности внешнего вида 3D модели: шейдинг по методу Фонга.
- Материал поверхности 3D модели: ламбертово диффузное отражение, блики по методу Кука–Торренса.
- Для визуализации: 4 виртуальные камеры; ракурсы со стороны Атлантики, Евразии, Тихого океана и Северной Америки.
- Рендеринг: оффлайновый, движок Blender Render.

Положение виртуальных источников света и камер. Вид сверху и сбоку



Положение виртуальных источников света и камер. Перспективный вид

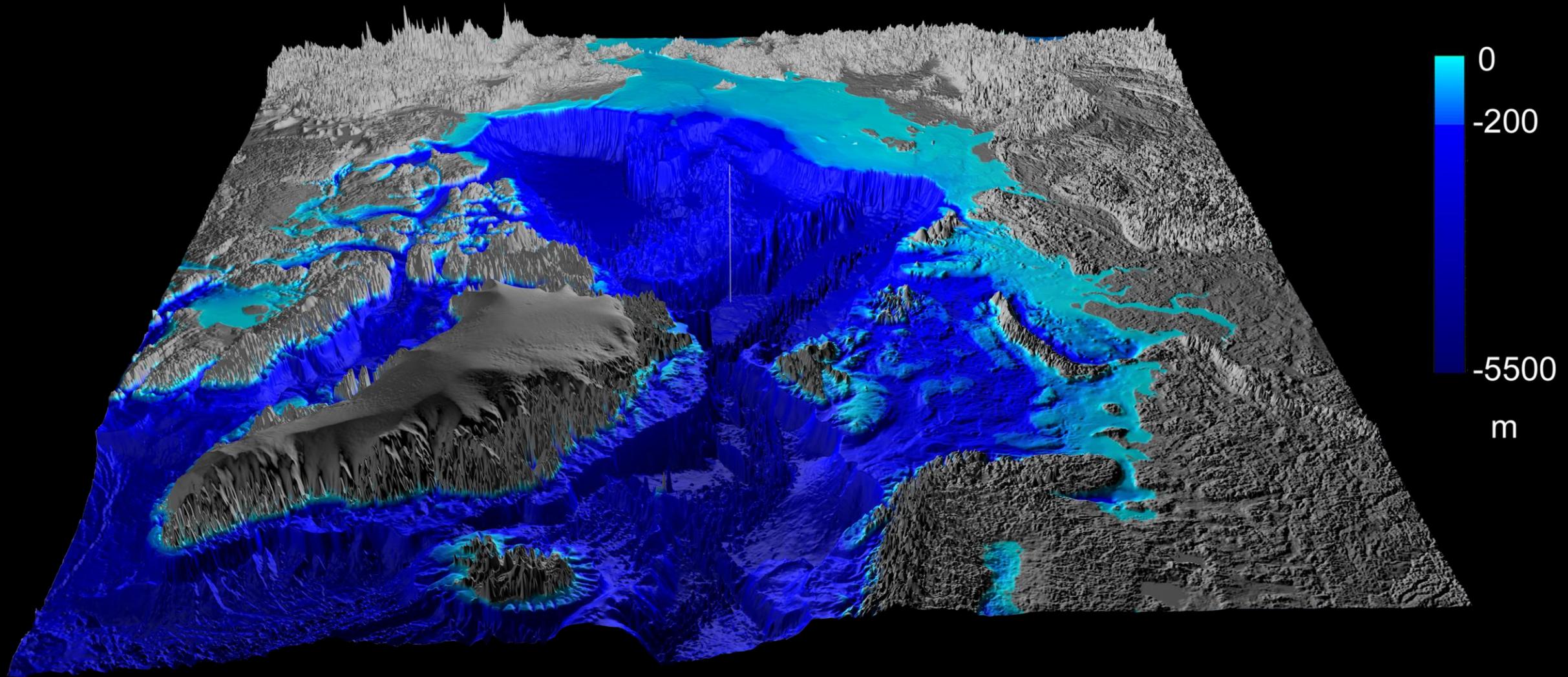


Трёхмерные морфометрические модели

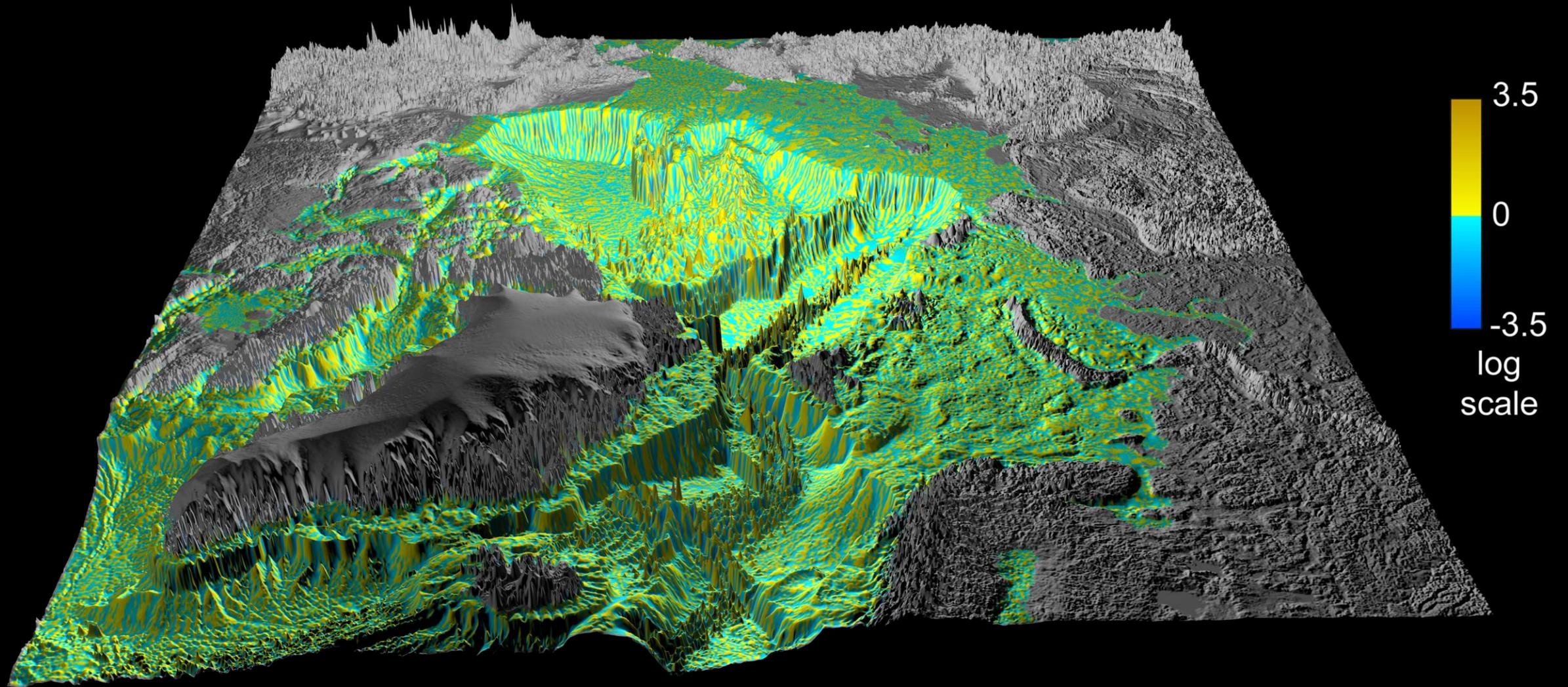
Florinsky I.V., Filippov S.V. Three-dimensional desktop morphometric models for the Arctic Ocean floor // Proceedings of the International Cartographic Association, 2019, Vol. 2, # 32, doi:10.5194/ica-proc-2-32-2019.

Ракурс со стороны Атлантики

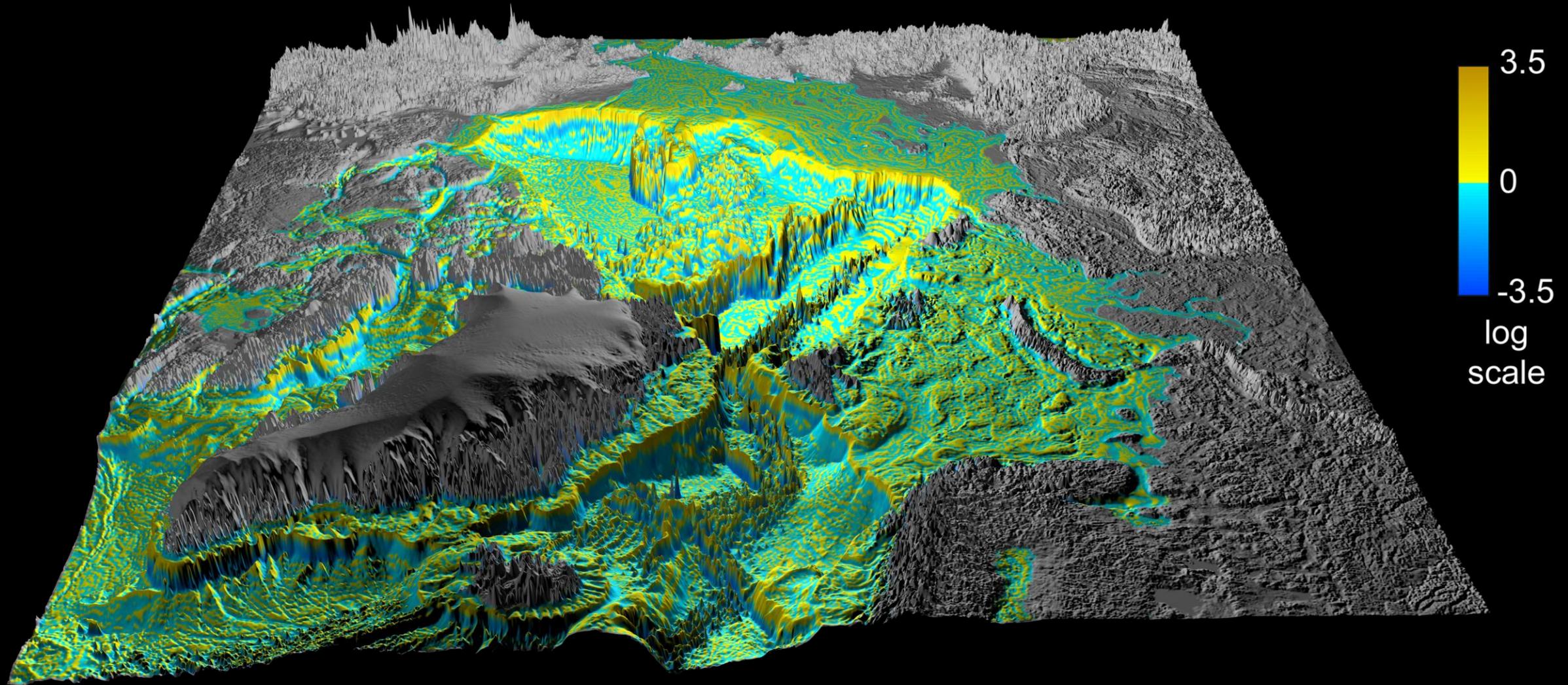
Глубина



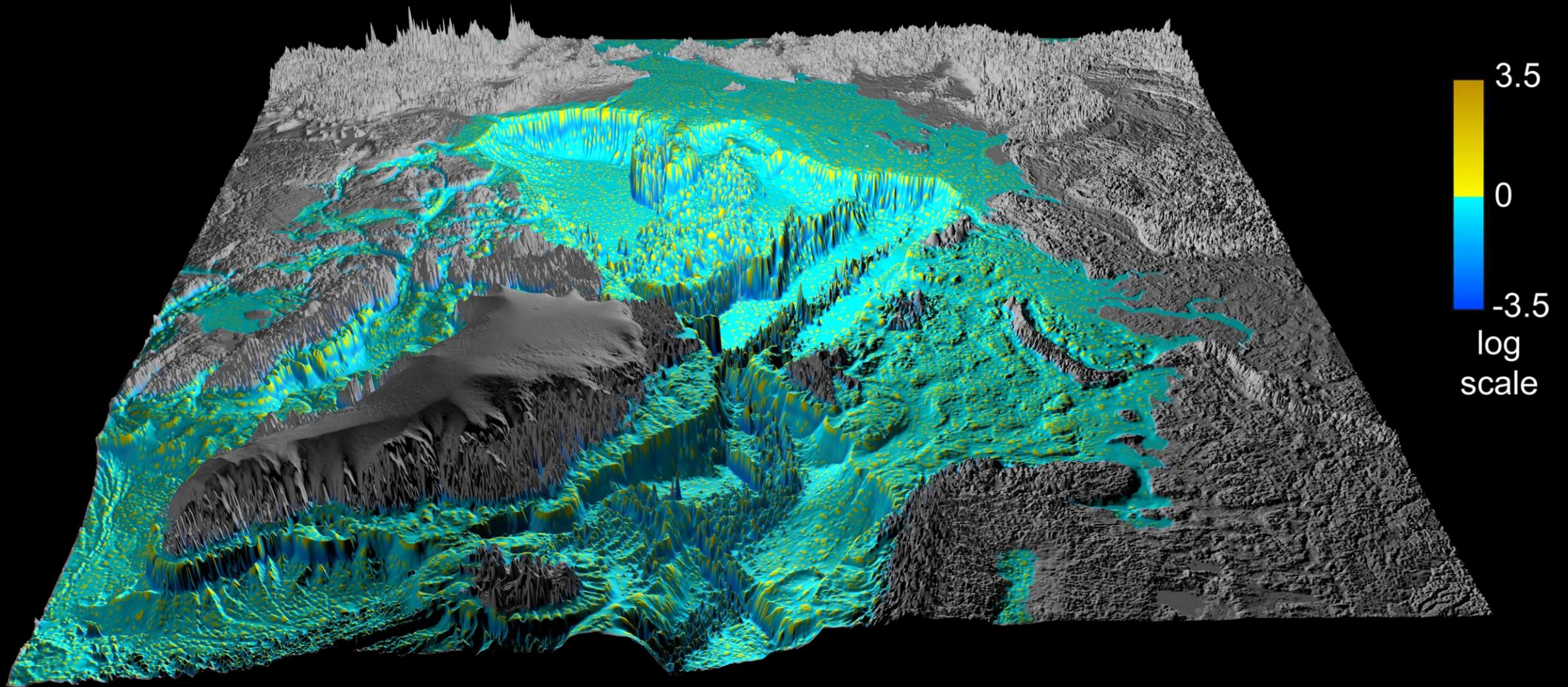
Горизонтальная кривизна



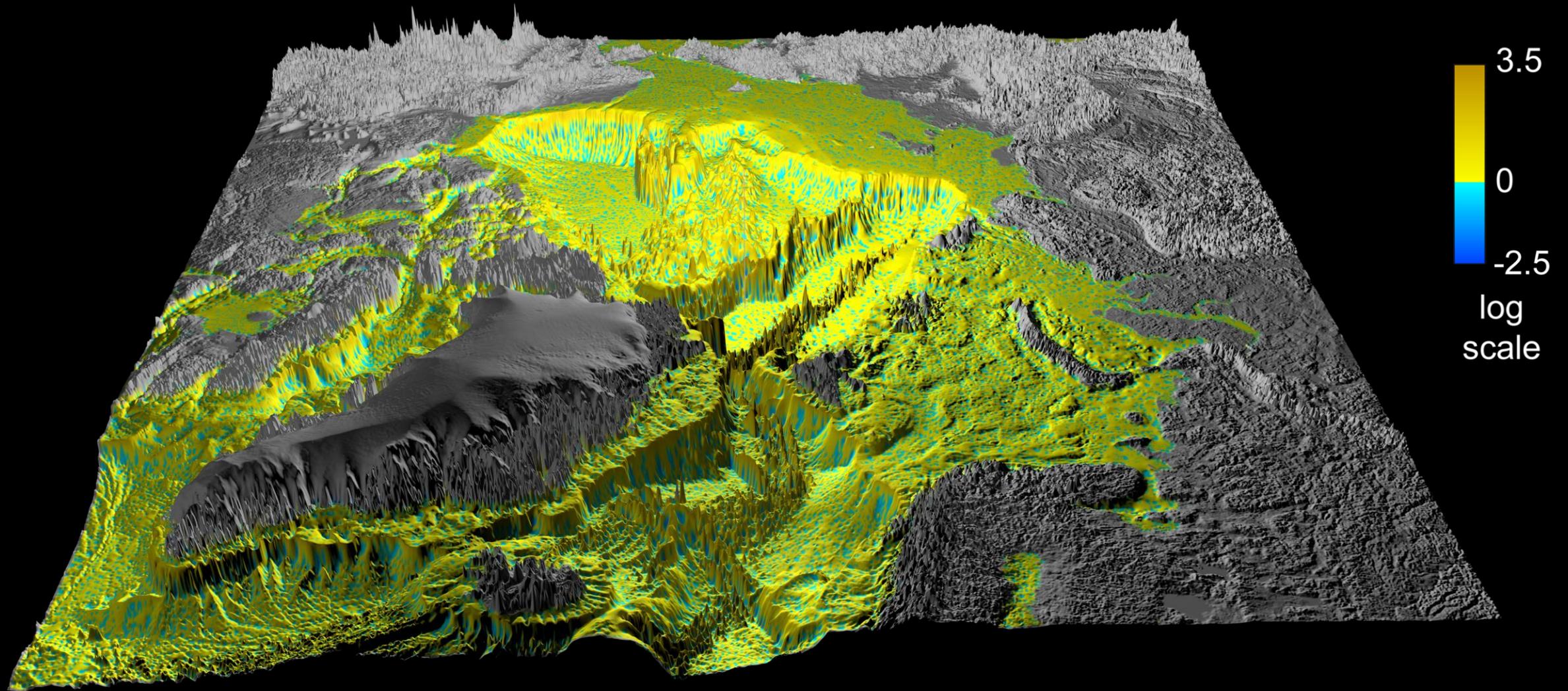
Вертикальная кривизна



Минимальная кривизна

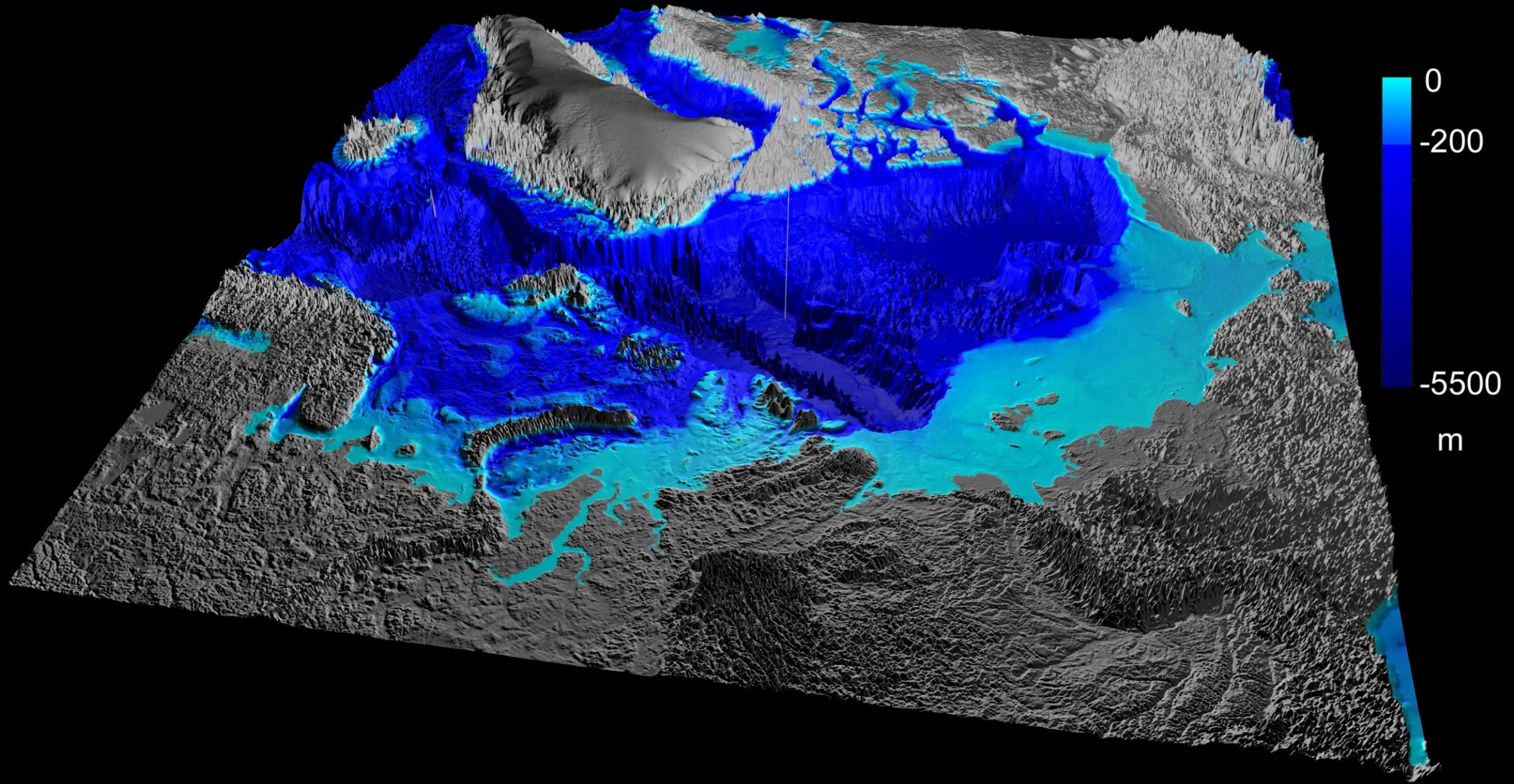


Максимальная кривизна

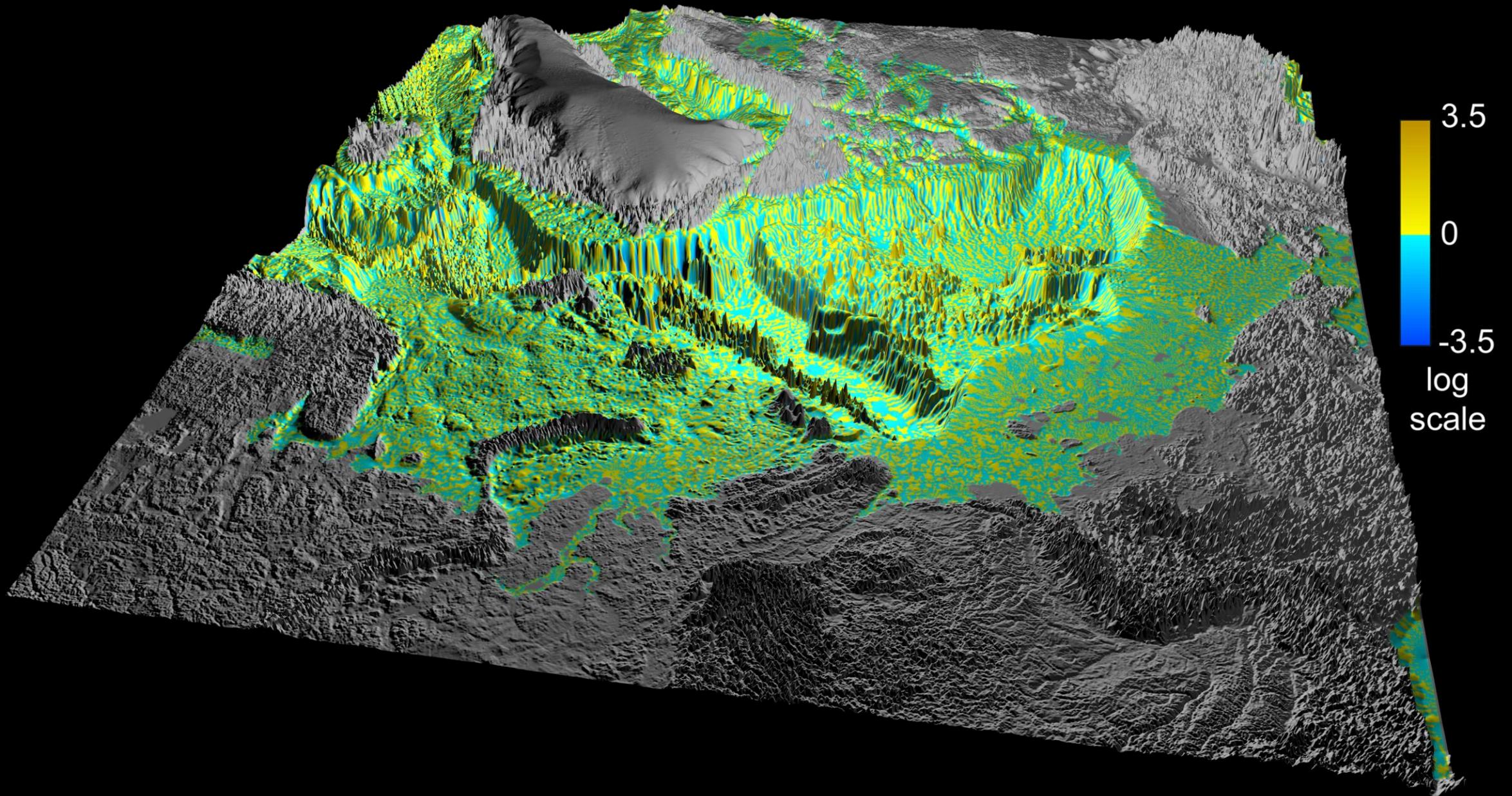


Ракурс со стороны Евразии

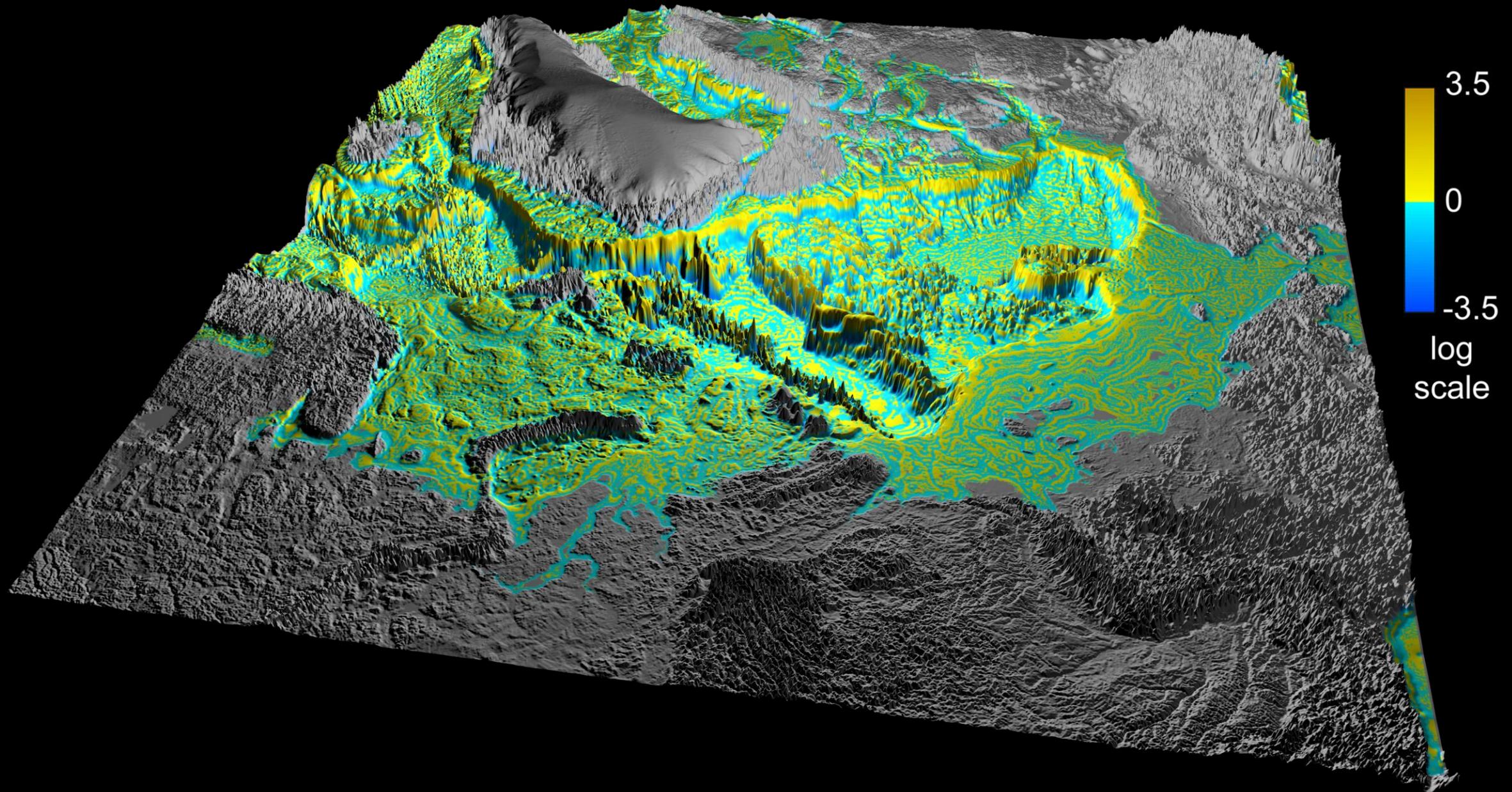
Глубина



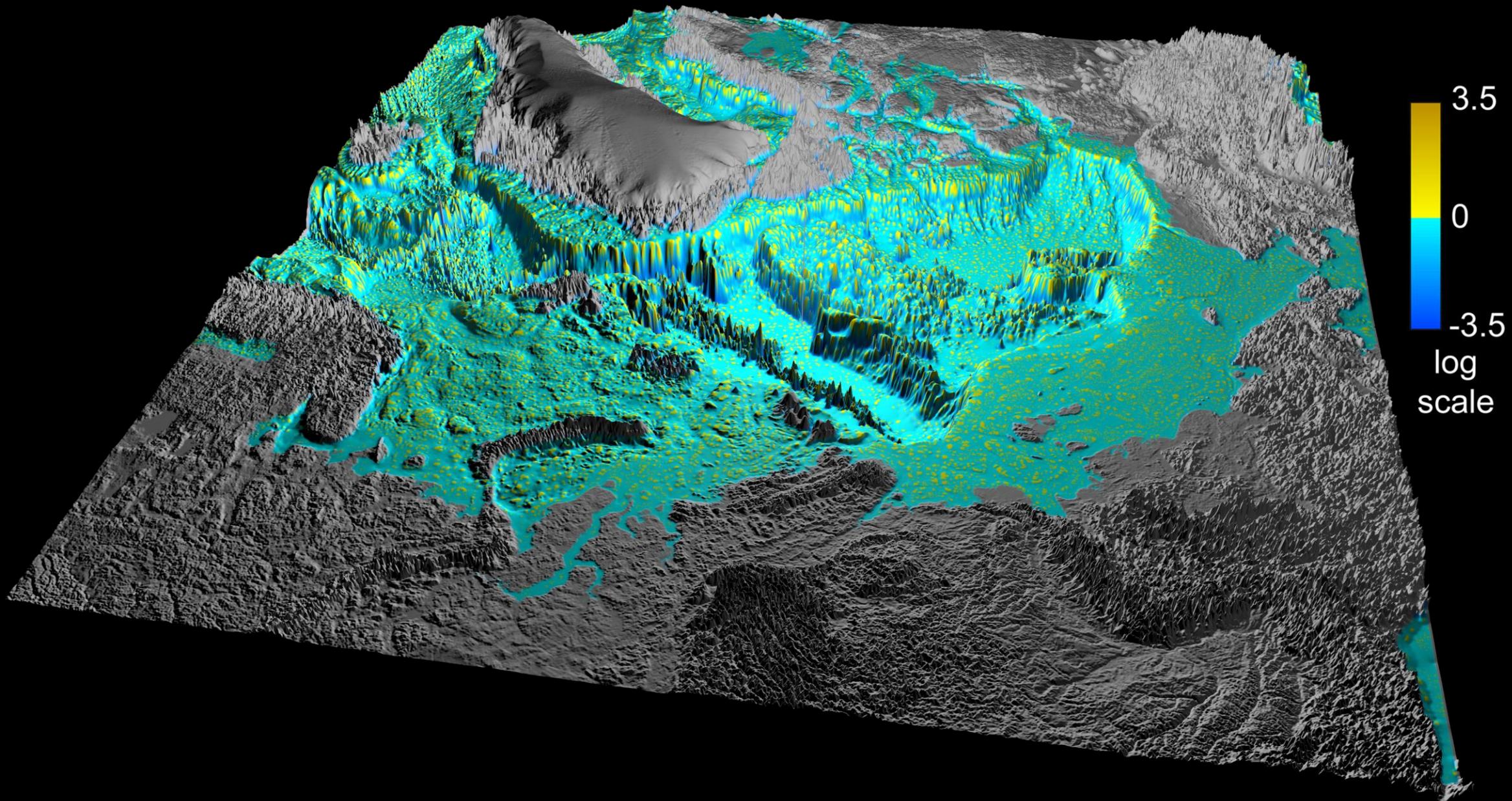
Горизонтальная кривизна



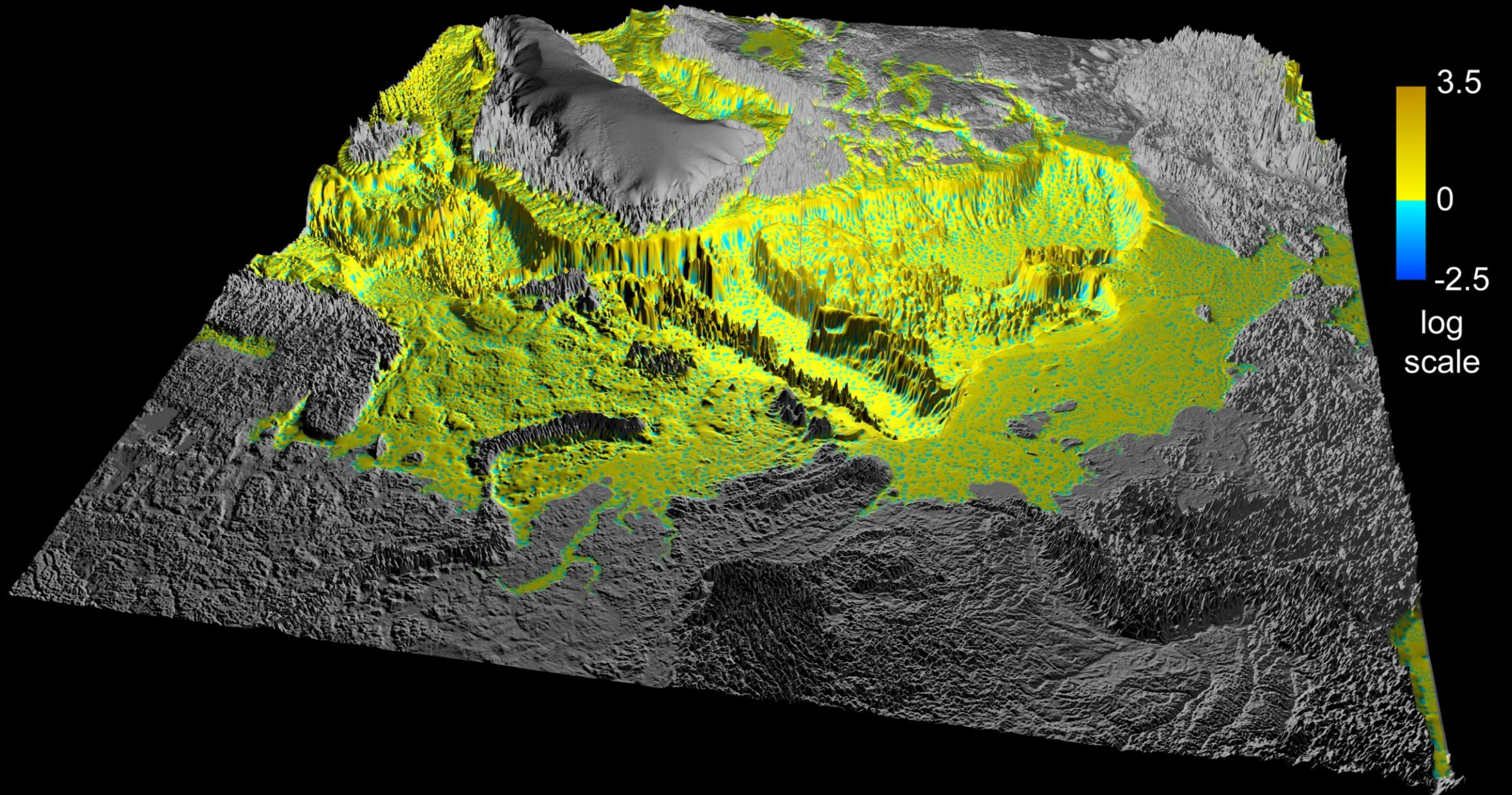
Вертикальная кривизна



Минимальная кривизна

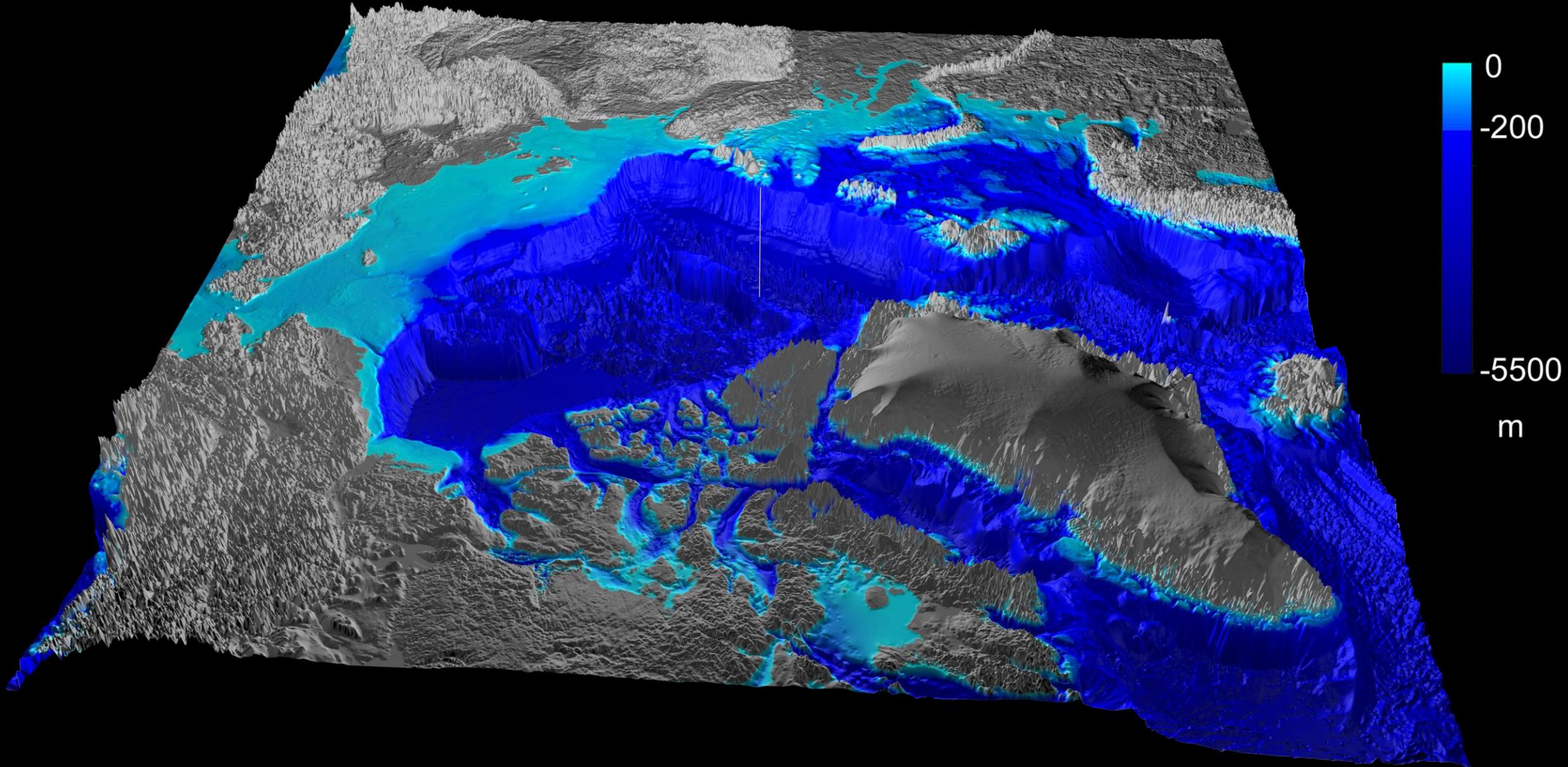


Максимальная кривизна

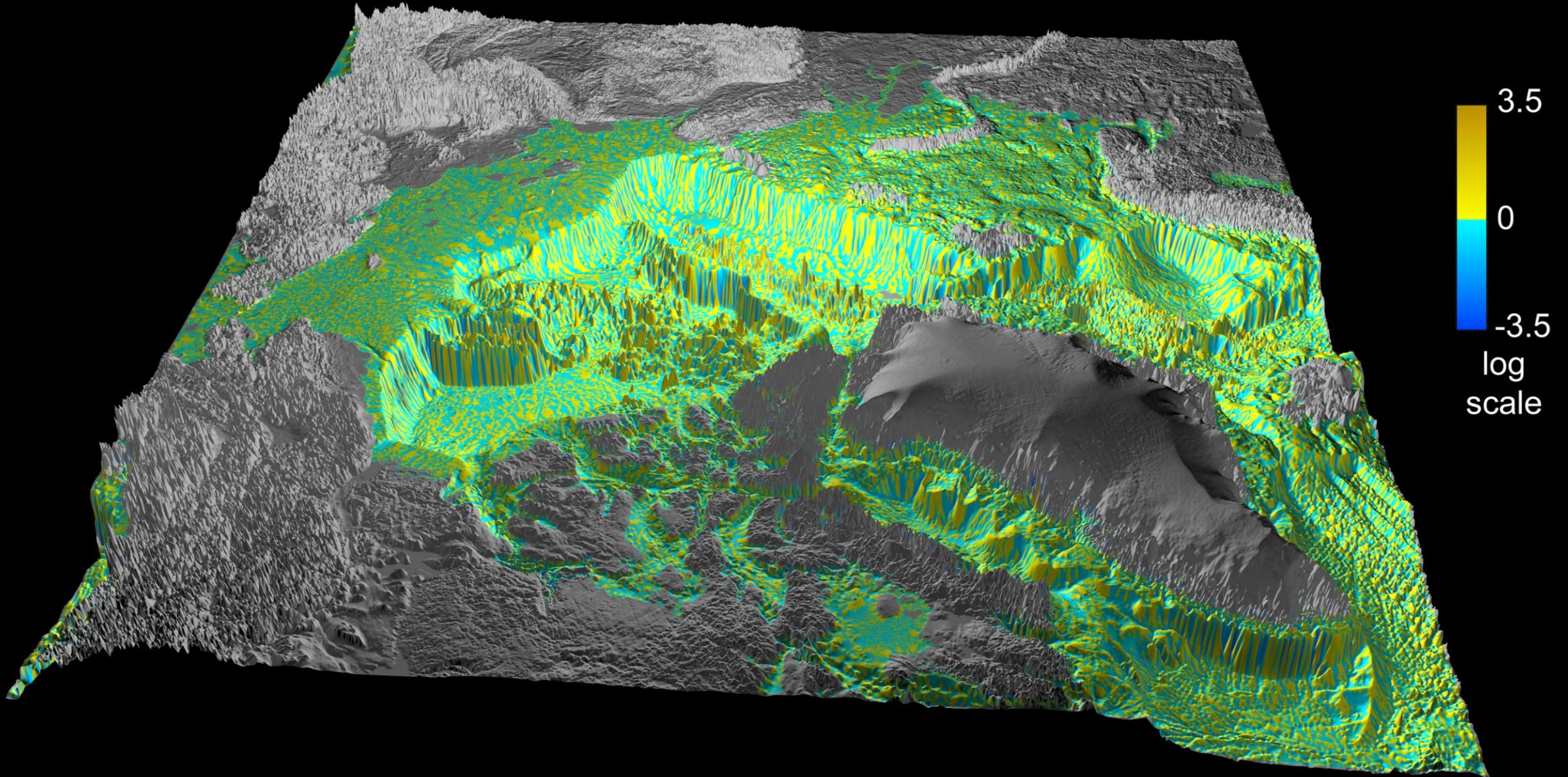


Ракурс со стороны Северной Америки

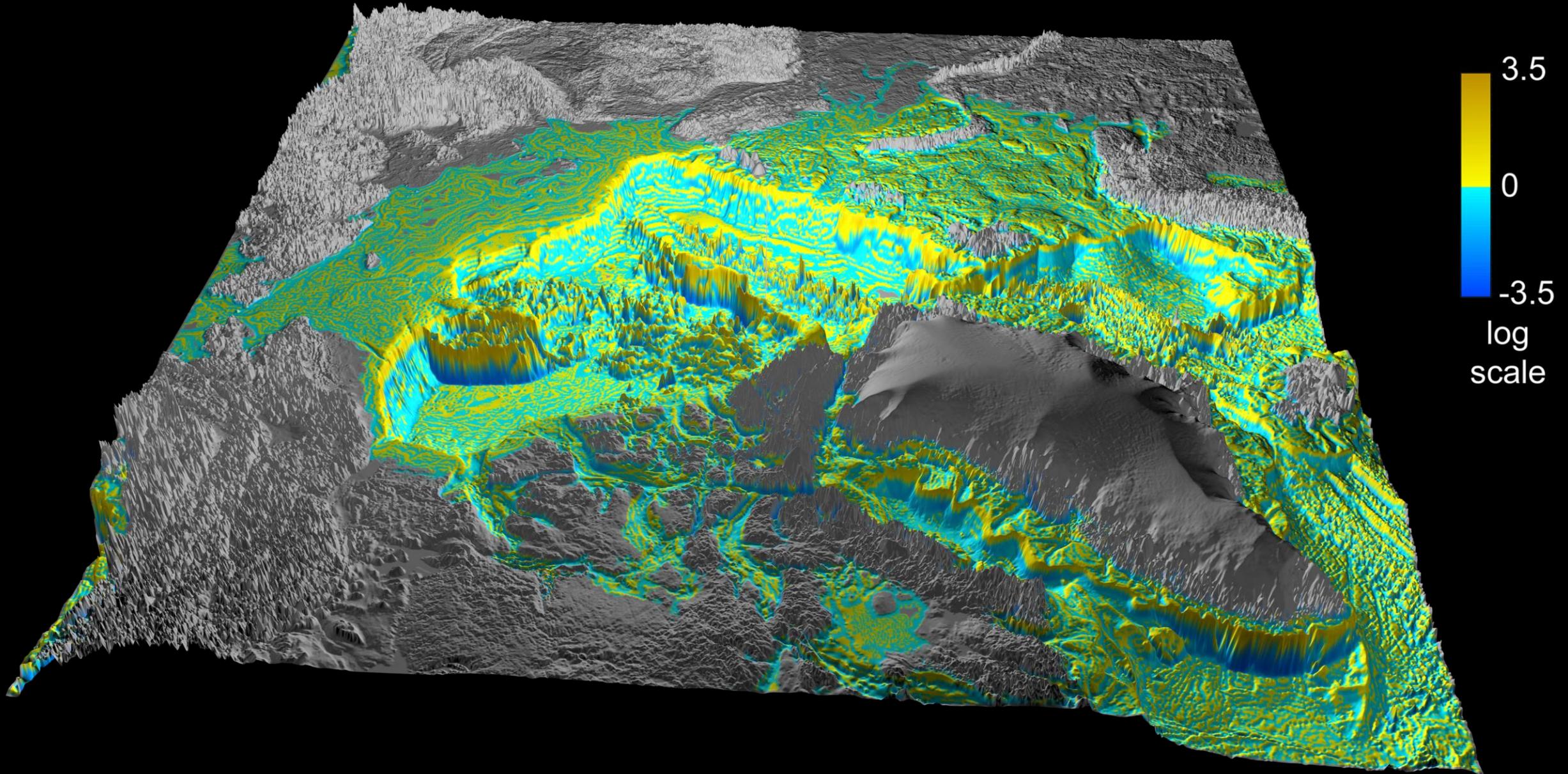
Глубина



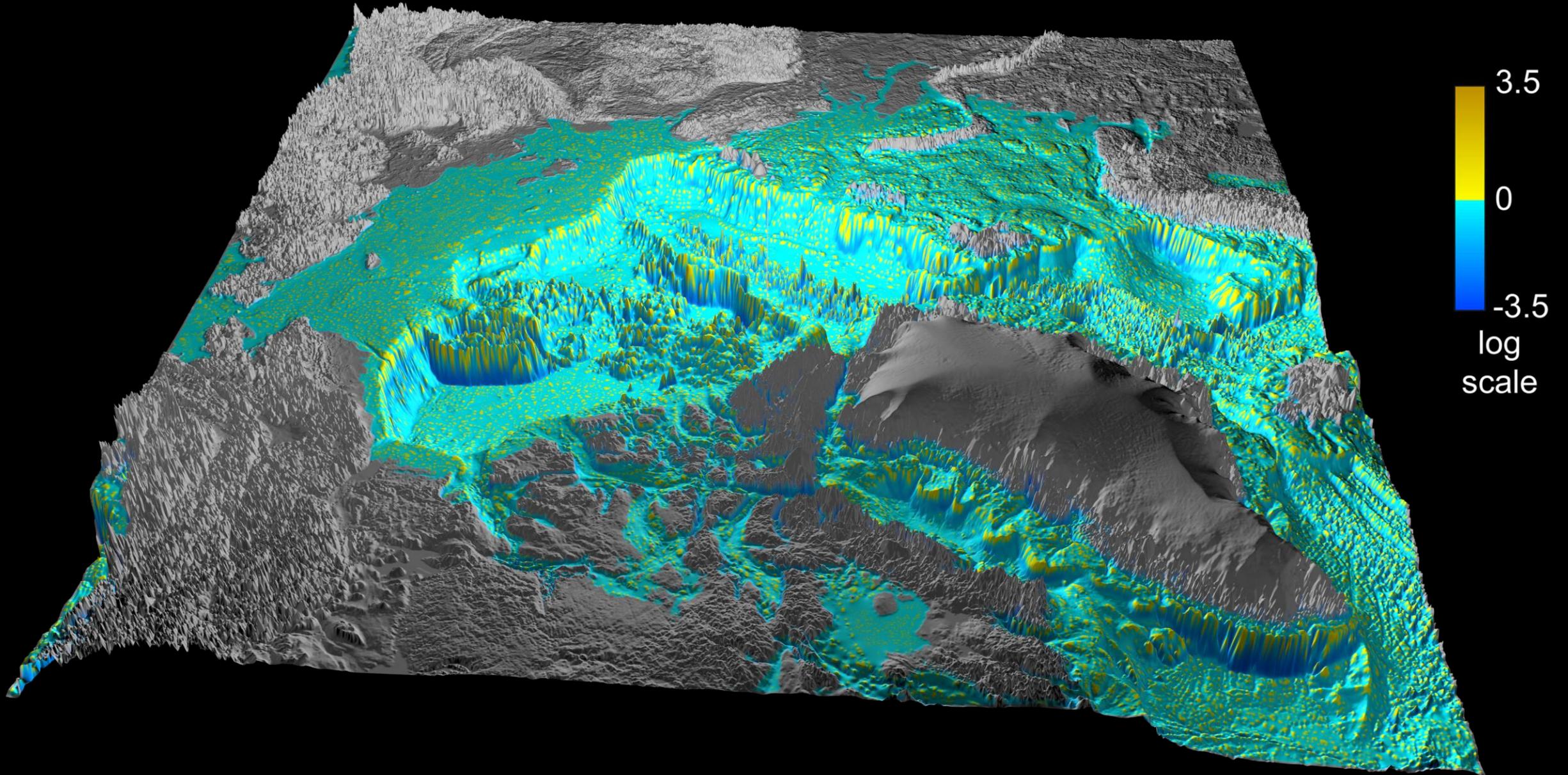
Горизонтальная кривизна



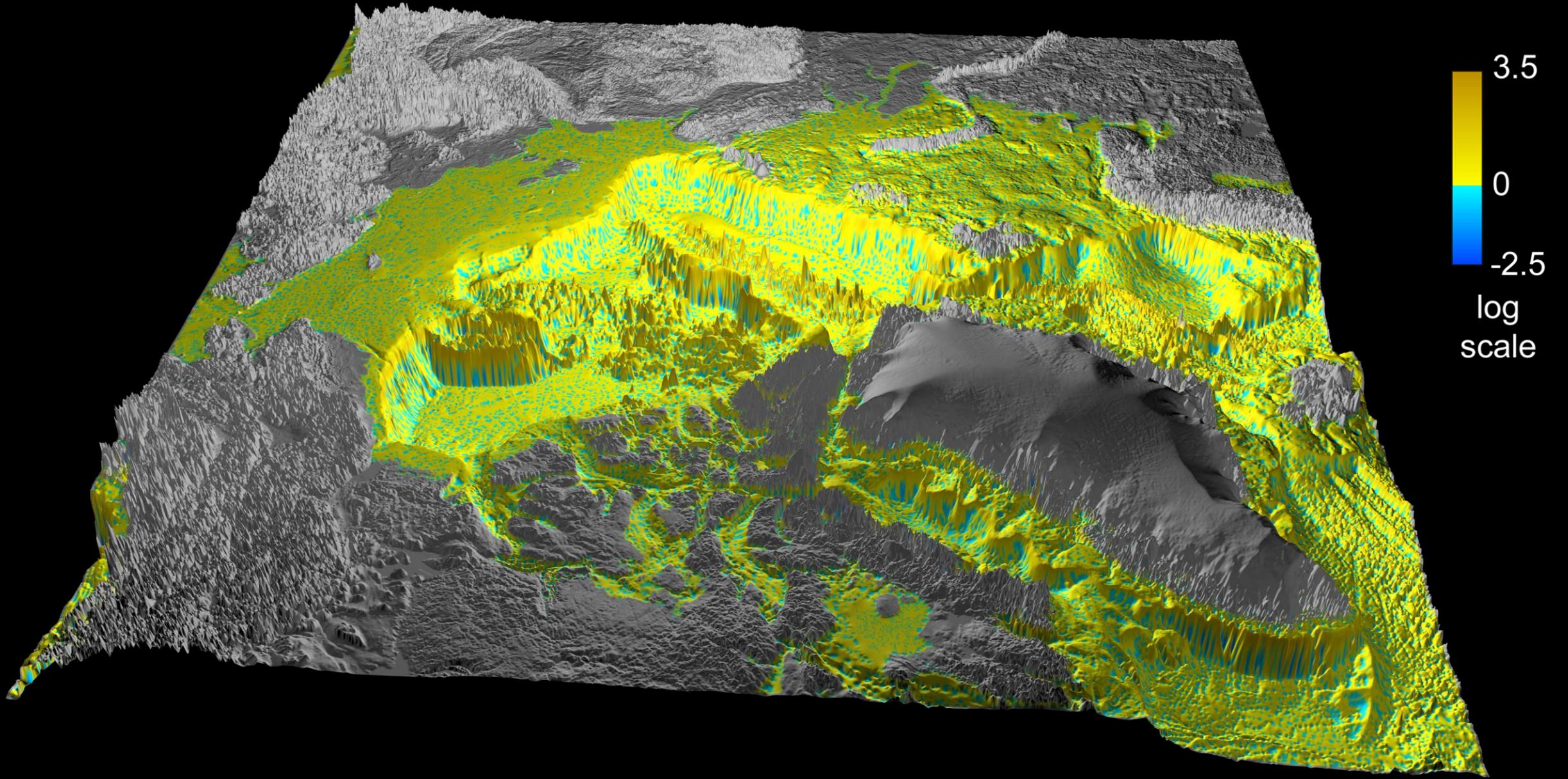
Вертикальная кривизна



Минимальная кривизна



Максимальная кривизна



Выводы

Использованный подход работоспособен и может служить основой для создания следующей настольной версии системы, которая обеспечит визуализацию моделей высокого разрешения (до 500 м, т.е. базового разрешения IBCAO 3.0, построенной на квадратной сетке).

Веб-версия системы также будет включать в себя 3D морфометрические модели с разрешением до 500 м.

Финальная версия системы должна обеспечить: 1) Хранение большой батиметрической ЦМР; 2) Расчет на ее основе цифровых моделей 16-ти морфометрических характеристик; 3) Интерактивную 3D многомасштабную визуализацию моделей; и 4) Свободный доступ к этой информации через Интернет, с возможностью 3D визуализации в реальном масштабе времени в режиме онлайн.

Гранты РФФИ

18-07-00223 и 18-07-00354

<http://iflorinsky.impb.ru>

email: *iflor@mail.ru*