

НАУЧНЫЕ КОЛЛЕКЦИИ И ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СЕГОДНЯ

Роль компьютерной томографии в исследовании и хранении зоологических коллекций

Нанова О.Г.

НИ Зоологический музей МГУ

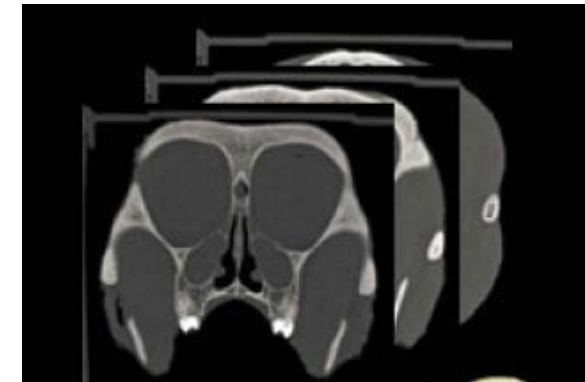
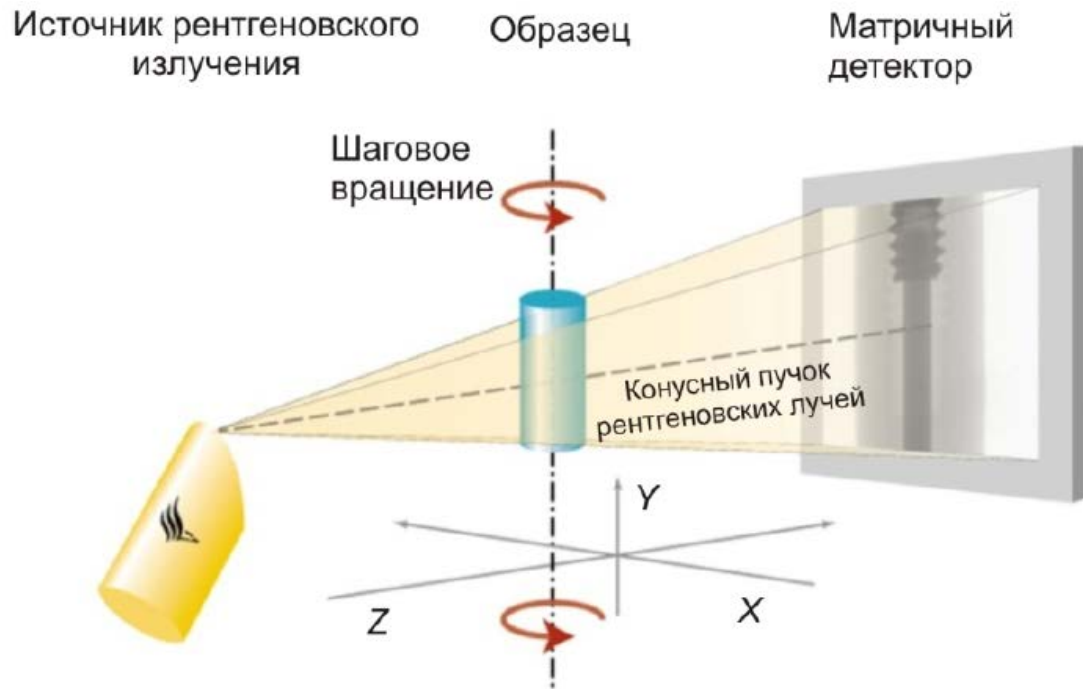
Technique	Data collected	Destructive?	Size of feature ^b	Resolution ^c	Cost to buy/use ^d	Portable?
Serial grinding, slicing and sawing	Optical images of exposed surfaces	Y	>1 mm	10 µm	EE/E	Y
FIB tomography	SEM images, chemical data	Y	1 µm to 1 mm	50 nm	EEEE/E	N
Micro-CT	Maps of X-ray attenuation	N	1 mm to 250 mm	1 µm	EEEE/E	N
Nano-CT	Maps of X-ray attenuation	N	1 µm to 60 µm	200 nm	EEEE/E	N
Synchrotron-based tomography	Maps of X-ray attenuation	N	50 µm to 600 mm	200 nm	X	N
Synchrotron-based phase contrast tomography	Maps of X-ray phase variations	N	50 µm to 600 mm	200 nm	X	N
Neutron tomography	Maps of neutron attenuation	N	2 mm to 300 mm	30 µm	X	N
Magnetic resonance imaging (MRI)	Distribution of light elements	N	<1 m	10 µm	EEEE/E	N
Laser scanning	Surface color and morphology	N	>10 mm	50 µm	EE/E	Y
Photogrammetry	Surface color and morphology	N	Any ^a	N/A ^a	E/E	Y
Serial focus light microscopy	Optical images at successive planes	N	100 µm to 10 mm	200 nm	EE/E	Y
Confocal laser scanning microscopy	Optical/fluorescence images at successive planes	N	10 µm to 250 µm	800 nm	EEE/E	N

[Cunningham](#) et al., 2014. A virtual world of paleontology// Trends in Ecology and Evolution 29, 347-357

Компьютерная (рентгеновская) томография – ведущий метод неразрушающего исследования в зоологических, палеонтологических и геологических исследованиях

В 1979 году Кормак и Хаунсфилд за разработку компьютерной томографии были удостоены Нобелевской премии по физиологии и медицине

- широкий диапазон разрешений
- оптимальная скорость съемки
- возможность создания мобильного прибора
- хороший контраст и проникаемость



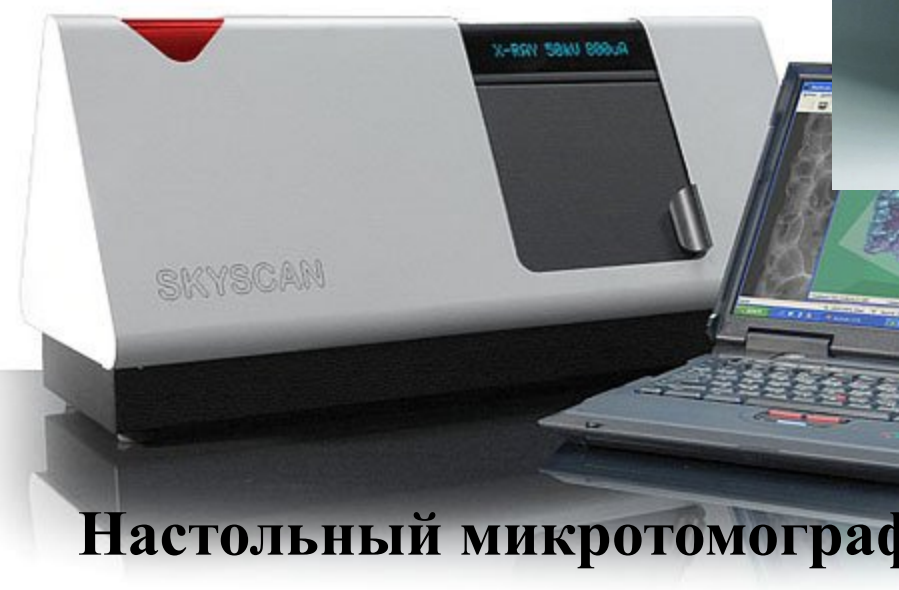
Принципиальная схема рентгеновской томографии. Из Кочнев, Кривошеков (2015)



Медицинский томограф



Нанотомограф



Настольный микротомограф

Функции Научно-исследовательских музеев

- **1. Хранительская;**
- **2. Научно-исследовательская;**
- **3. Образовательная.**

Роль компьютерной томографии в хранительской деятельности

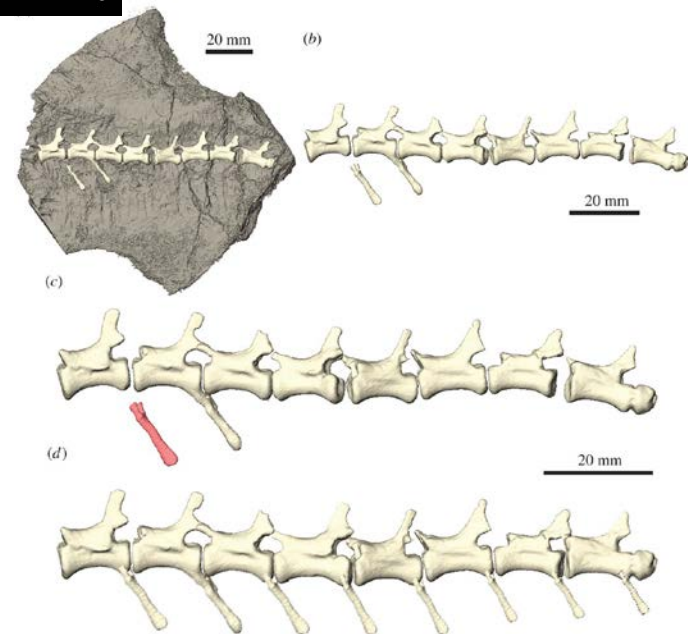
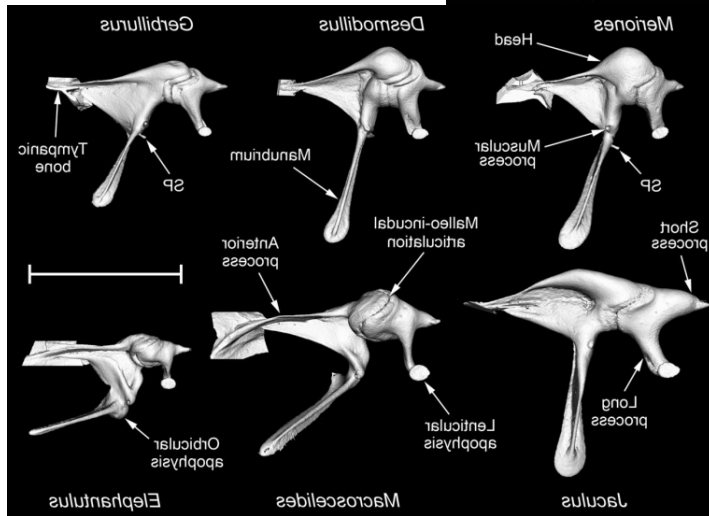
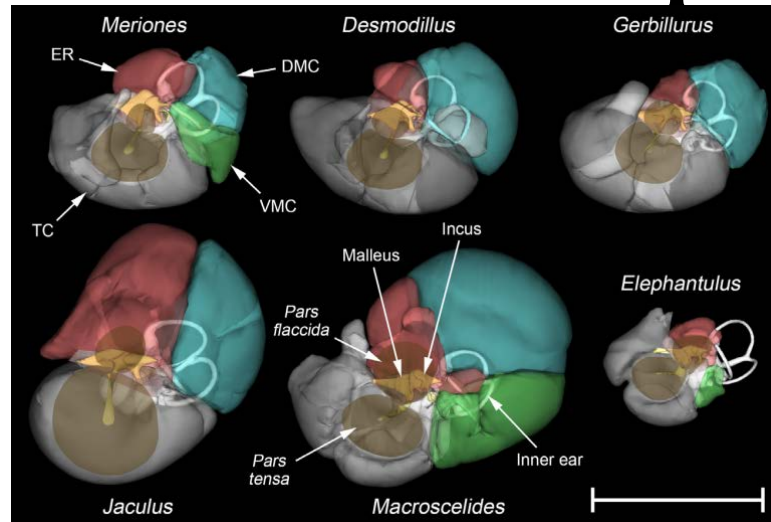
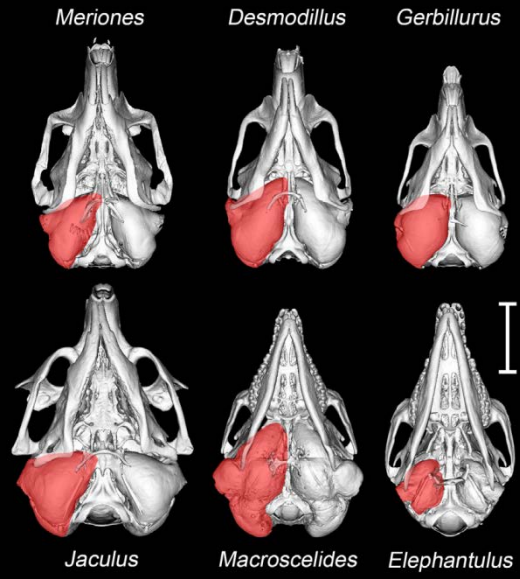
“Научные коллекции: хранить вечно!”

*Зачастую этот тезис вступает в противоречие
с необходимостью исследования*

Компьютерная томография – неразрушающий
метод исследования.

**“Компьютерная зоология”, “компьютерная
палеонтология”**

Электронная препаровка



Lautenschlager, 2016

Mason, 2016. Structure and function of the mammalian middle ear. I: Large middle ears in small desert mammals/ J. Anat. (2016) 228, pp284--299

Базы данных

Name	Website	File types
African Fossils	http://africanfossils.org/	3D
Artec 3D	https://www.artec3d.com/3d-models	3D
Aves3D	http://aves3d.org/	3D
CG trader	https://www.cgtrader.com/	\$, 3D
DigiMorph	http://digimorph.org/	CT-scan movies, 3D
Digital Morphology Museum, KUPRI	http://dmm.pri.kyoto-u.ac.jp/dmm/WebGallery/index.html	CT-scan movies
GB3D	http://www.3d-fossils.ac.uk/home.html	3D
<i>Idaho Virtualization Laboratory</i>	http://imnh.isu.edu/home/idaho-virtualization-laboratory/	Must request for models
MorphoSource	http://morphosource.org/	3D
Phenome10k	http://phenome10k.org/	3D
Shapeways	http://www.shapeways.com/	\$, 3D
Sketchfab	https://sketchfab.com/	Some free 3D
Smithsonian Human Origins	http://humanorigins.si.edu/evidence/3d-collection	Must request for models
Smithsonian X 3D	http://3d.si.edu/browser	3D
Thingiverse	http://www.thingiverse.com/	3D
U-M Online 3D Repository	http://umorf.ummp.lsa.umich.edu/wp/	No downloads

Hegna, T.A. and Johnson, R.E. (2016). Preparation of fossil and osteological 3D-printable models from freely available CT-scan movies. *Journal of Paleontological Techniques*, 16:1-10

DigiMorph
An NSF Digital Library at UT Austin

Search
Advanced Search

Hyaena hyaena, Striped Hyena
[Dr. Blaire Van Valkenburgh](#) - University of California

2 cm

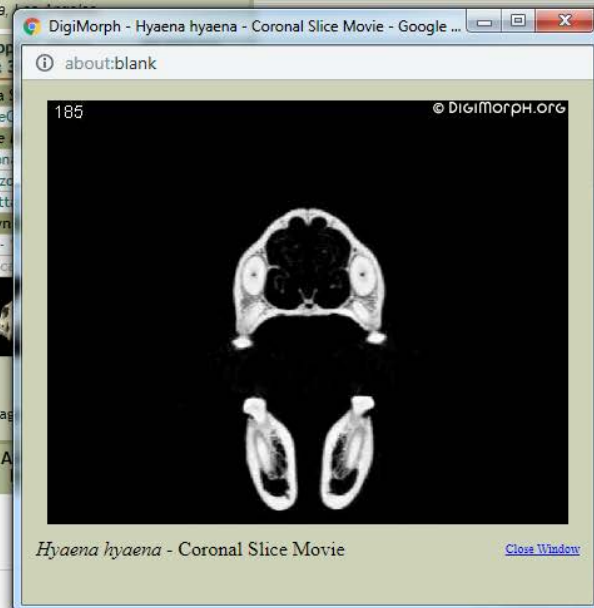


National Museum of Natural History (USNM 182034)
[ITIS](#) [TNS](#) [Google](#) [MSN](#)

About the Species | About this Specimen | About the Scan | Literature & Links

Coming soon!

DigiMorph
Home
About DigiMorph
DigiMorph Help
Sponsors
Links
Recent Publications
DigiMorph People
Browse the Library by:
Scientific Names
Common Names
What's New?
What's Popular?
Learn More
X-ray CT
3-D Printing
Overview Pages
Dinosaurs
Tapirs
Horned Lizards *
Endocasts
A Production of
UTCT
UT Geosciences
TMM
DigiMorph Contributors
* Expert annotation



ABOUT

BROWSE

DASHBOARD



[LOGIN/REGISTER](#)

Getting Started

Find & Download Datasets

Useful Info

[BROWSE](#) or

enter search terms 

- [About MorphoSource](#)
- [Information for Users](#)
- [Information for Contributors](#)
- [Terms](#)
- [User Guide](#)

[LOGIN OR REGISTER](#)



<http://morphobrowser.biocenter.helsinki.fi/>

MorphoBrowser - Morphoview - Mozilla Firefox

File Edit View History Bookmarks Tools Help

http://pantodon.science.helsinki.fi/morphobrowser/morphoview.php

Morphoview

Alopex lagopus

Order: Carnivora
Family: Canidae
Subfamily: Caninae

Arctic Fox

Species List

Species Information

Diet animal - carnivore (meat)
Status extant

Individual Information

Category Museum specimen (Recent)
Individual Name
Sex
Museum Collection Swedish Museum of Natural History, Stockholm, Sweden
Museum ID A58 3655

Instance Information

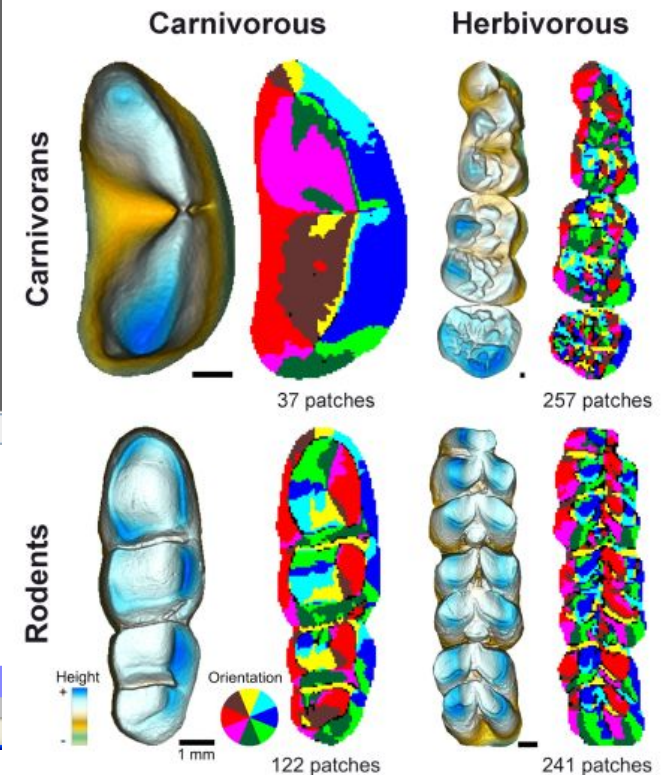
Locality
Country
Collection Date
Age
General Wear Level light
Instance Comment

Sample Information

Teeth P4 M1 M2
Crown Type S2010 S2200 S2200
Upper/Lower upper
Left/Right left (mirrored)
Wear Level light

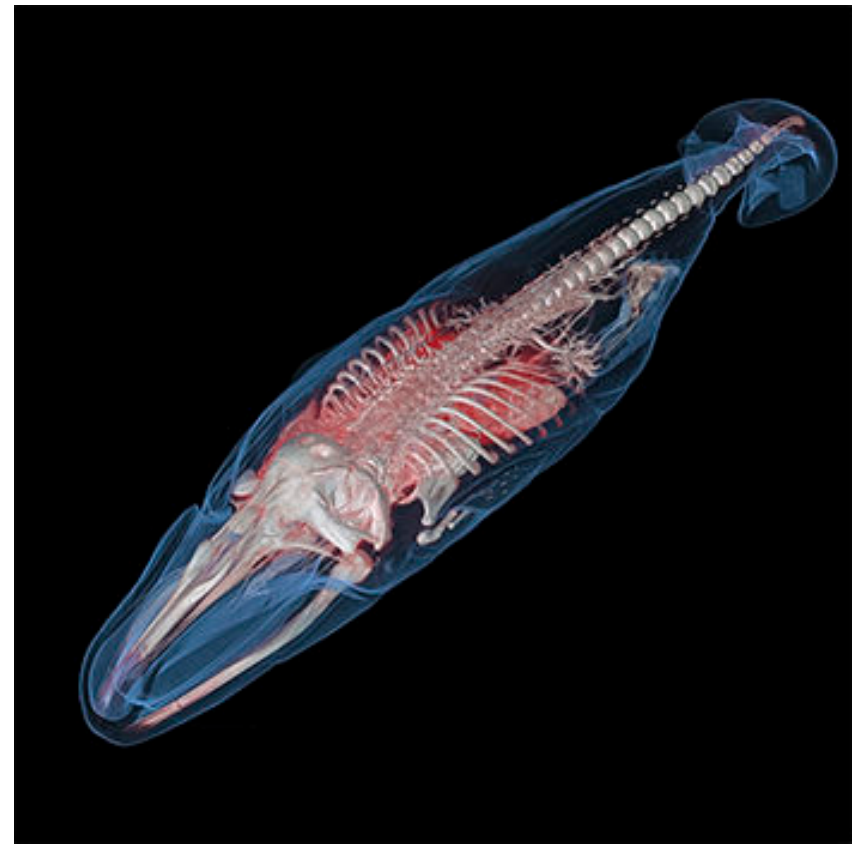
Record 2 of 4

Applet lite/Lite started



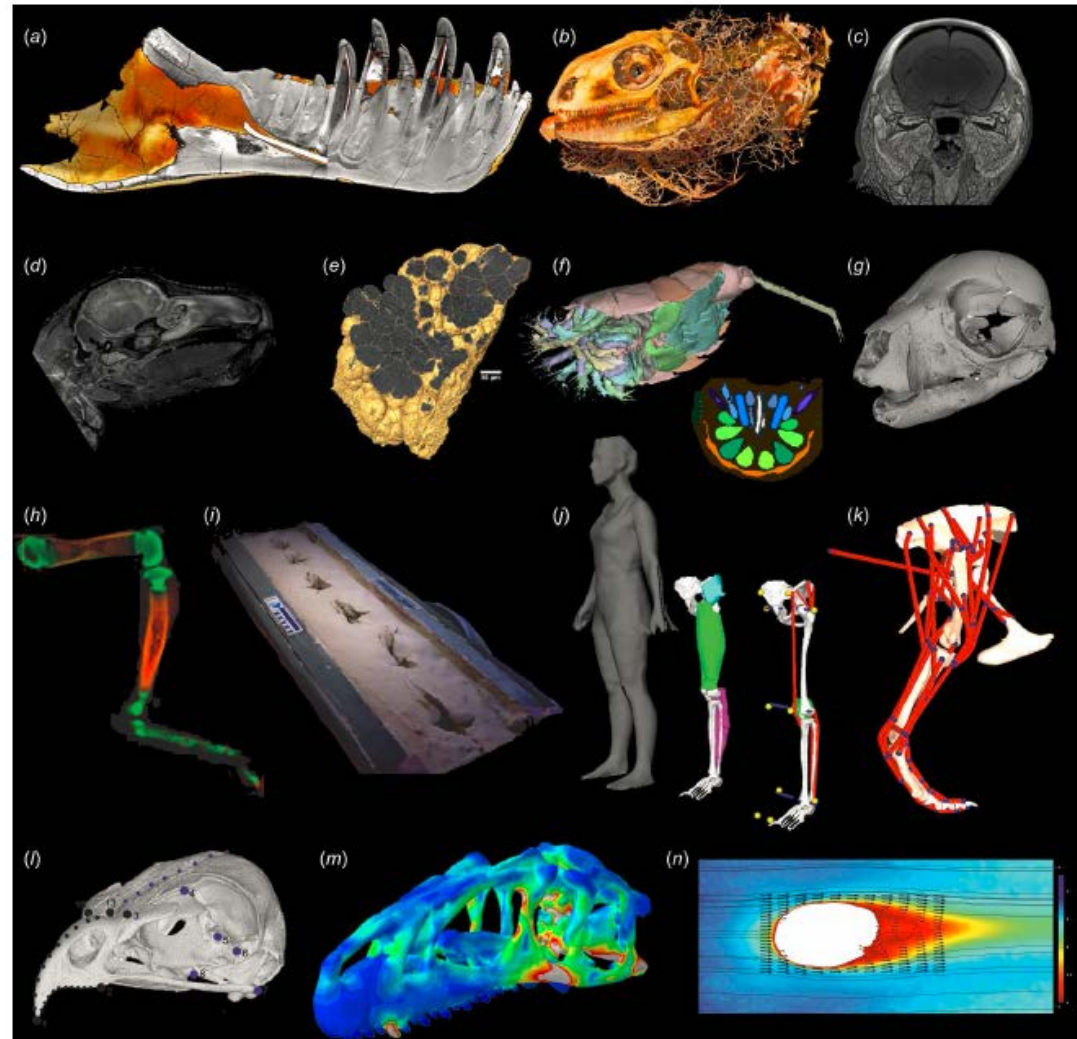
Wilson et al., 2012. Adaptive radiation of multituberculate mammals before the extinction of dinosaurs //doi:10.1038/nature10880

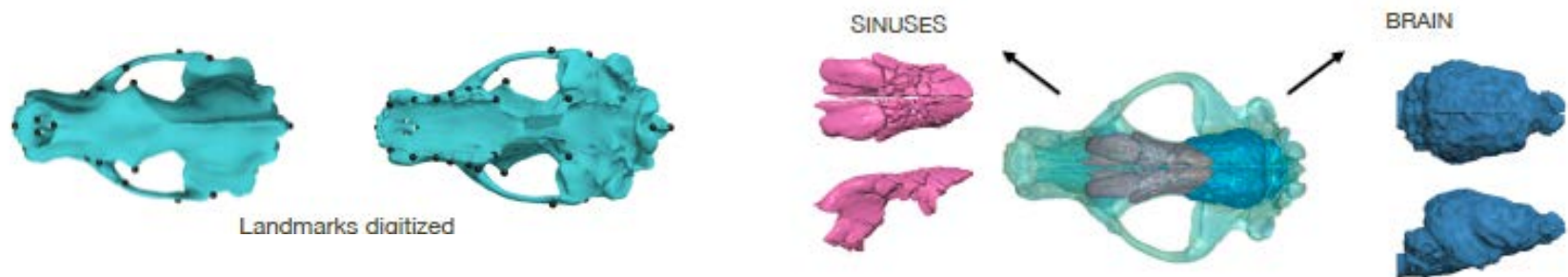
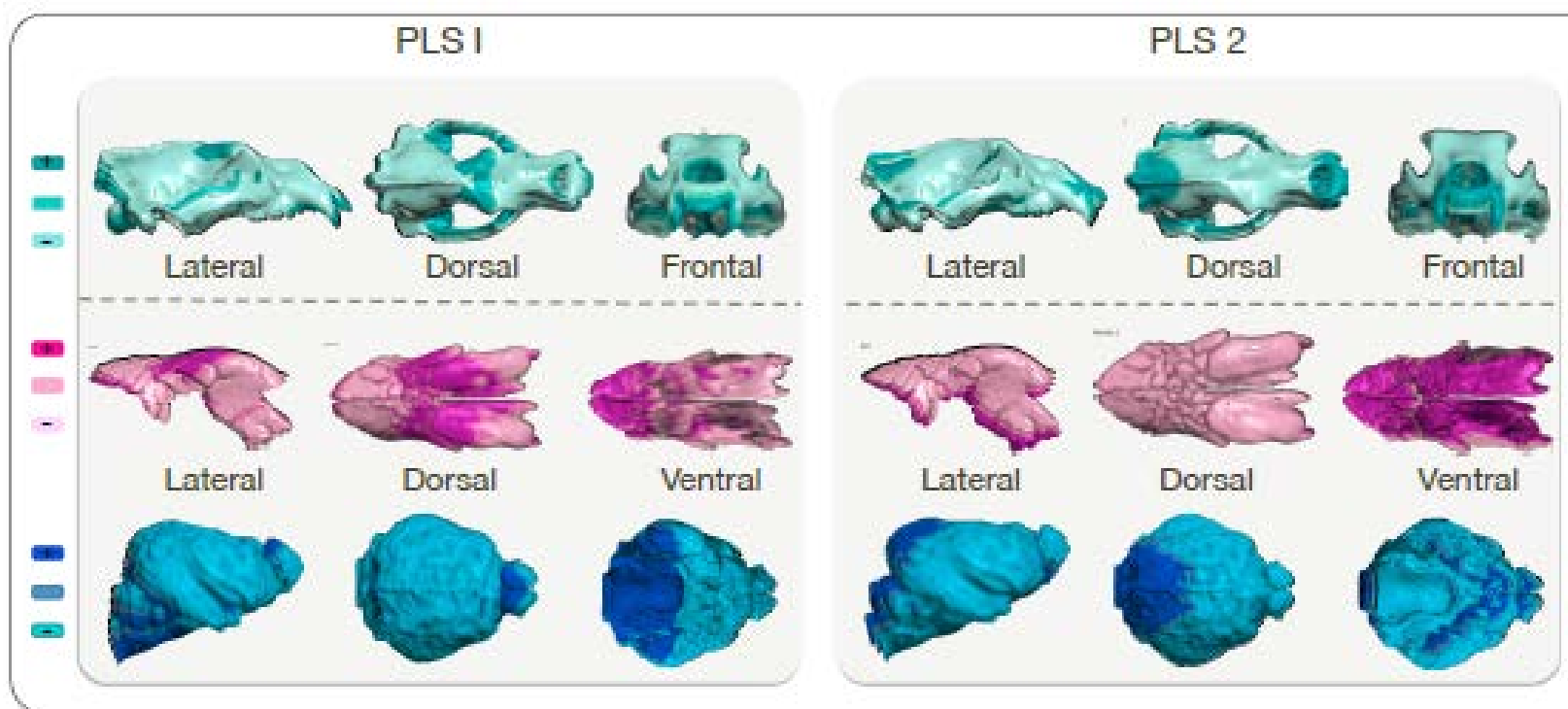
New 3D scanning campaign will reveal 20,000 animals in stunning detail// Science. 2017. Ryan Ross.



Научно-исследовательская деятельность

- Изучение формы внутренних и внешних структур, исследование мелких структур (например, у млекопитающих - зубы);
- Измерение нетривиальных параметров, например, объемов различных полостей (синусы черепа, объем черепной коробки), толщину костей, а также некоторые физические свойства тканей (основываясь на их плотности);
- Изучение формы с помощью измерений, геометрической морфометрии, а также более новых методов сравнения форм;
- Полученное изображение может быть изучено многократно в разных аспектах



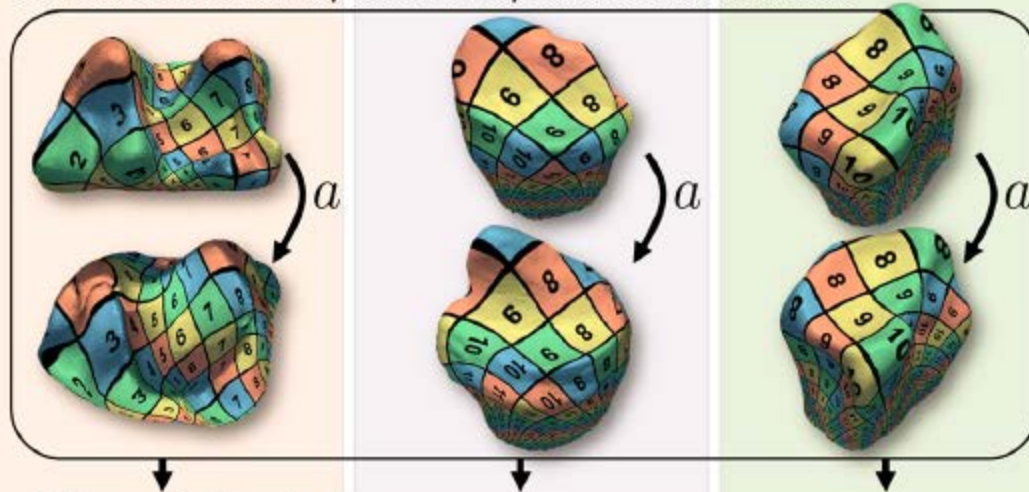


THE INFLUENCE OF SKULL SHAPE MODULARITY ON INTERNAL SKULL STRUCTURES: A 3D-PILOT STUDY USING BEARS. Pérez-Ramos et al., 2015

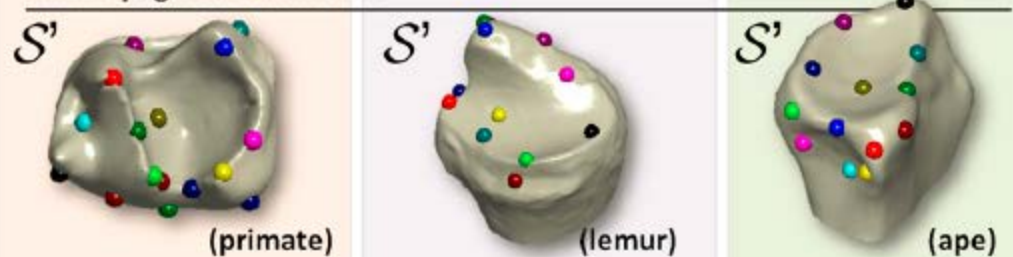
I. Observer-Placed Landmarks



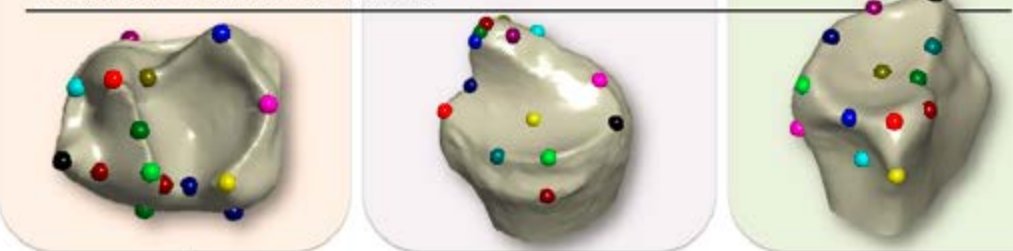
II. cP-determined correspondence map between two structures



III. Propagated Landmarks

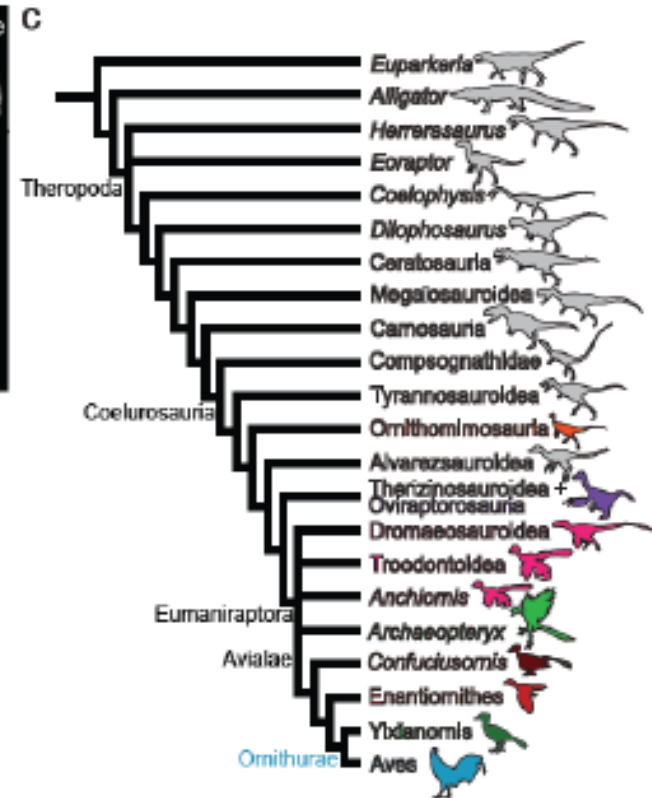
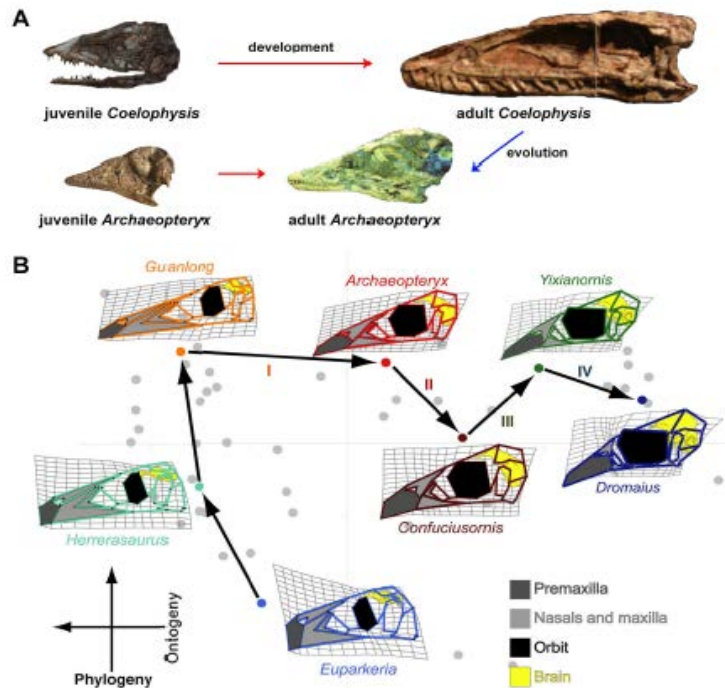
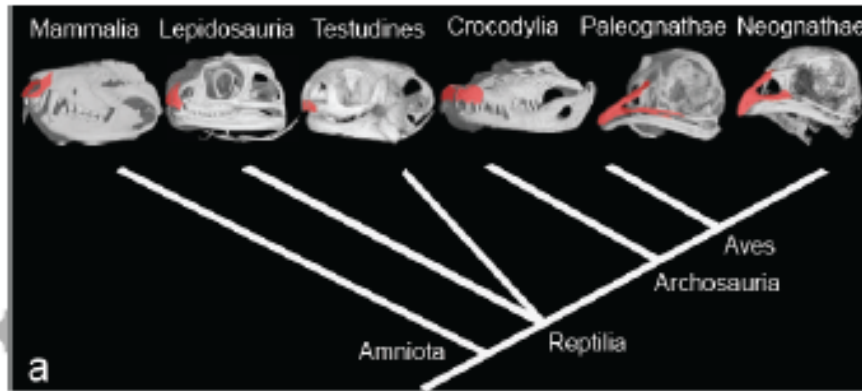


IV. Observer-Placed Landmarks



Boyer et al., 2011. Algorithms to automatically quantify the geometric similarity of anatomical surfaces//www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1112822108

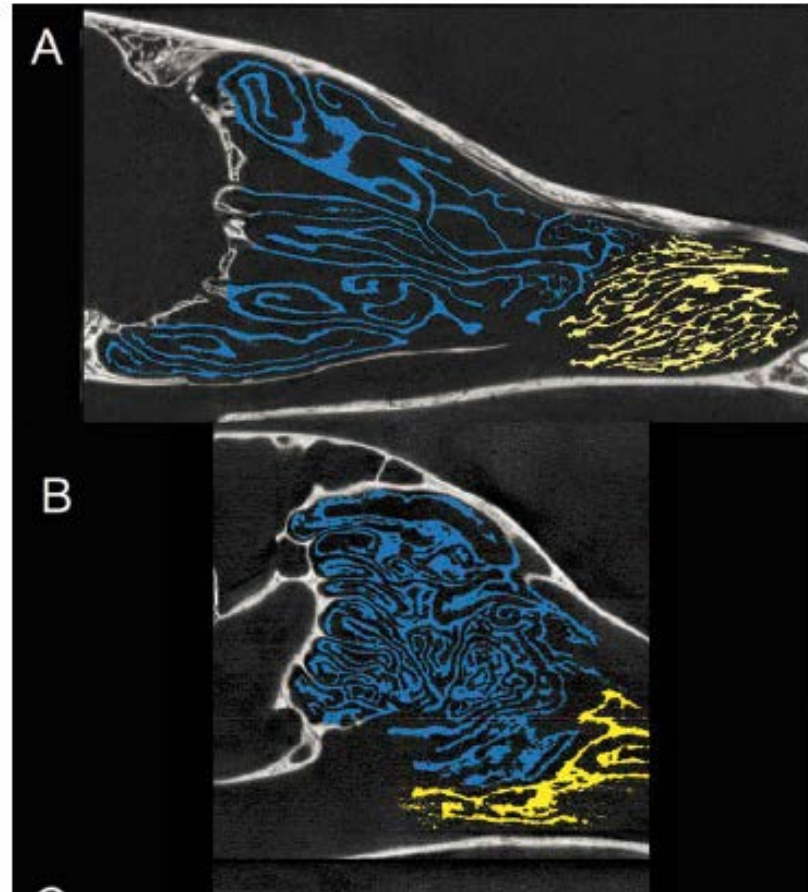
Эволюция птиц



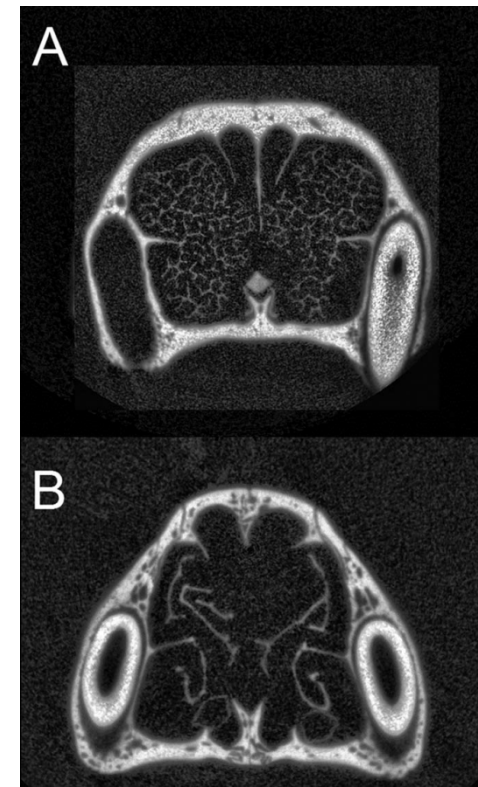
Bhullar, B.-A. S., Marugán-Lobón, J., Racimo, F., Bever, G. S., Rowe, T. B., Norell, M. A. and Abzhanov, A. (2012). Birds have pedomorphic dinosaur skulls. *Nature* 487, 223-226.

Valkenburgh et al., 2014. Respiratory and Olfactory Turbinals in Feliform and Caniform Carnivorans: The Influence of Snout Length//The anatomical record 297:2065–2079

Измерения площади поверхности турбиналий. Исследование изменчивости в зависимости от размеров тела у 16 видов Feliformia и 20 видов Caniformia (включены все семейства)



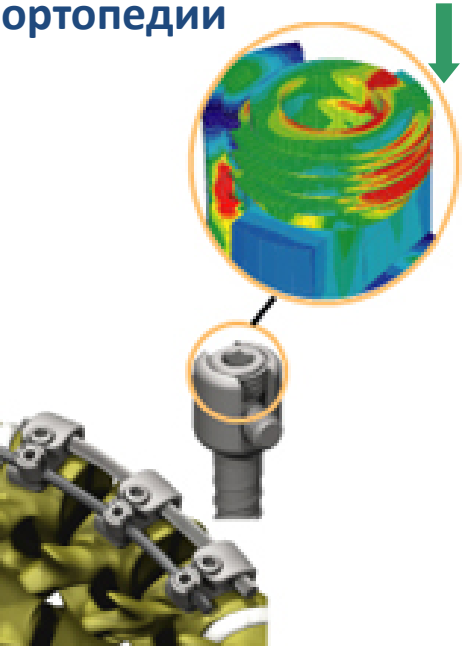
А-длинномордый представитель Caniformia, В – короткомордый представитель Feliformia. Этмотурбиналии – голубой цвет, максиллотурбиналии – желтый цвет



FEA – инженерный метод, давно используется в машиностроении, самолетостроении и т.д.



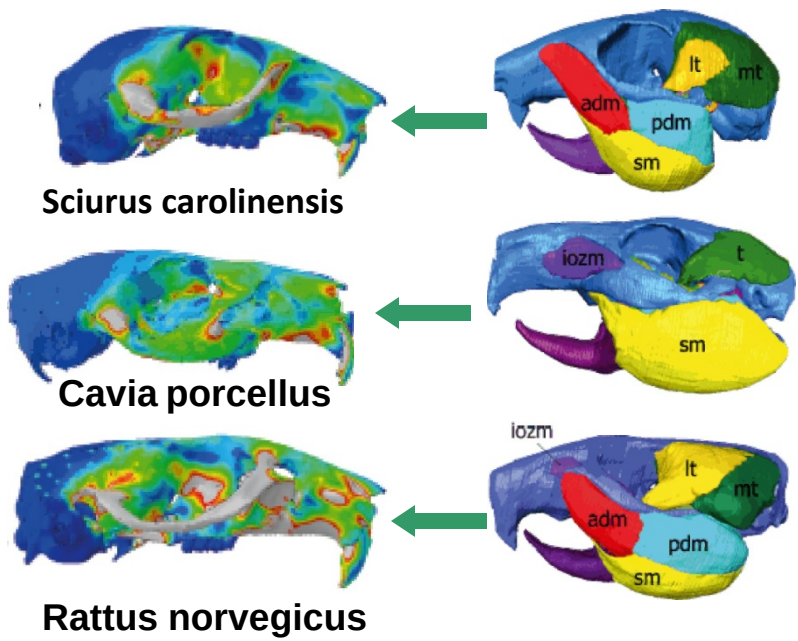
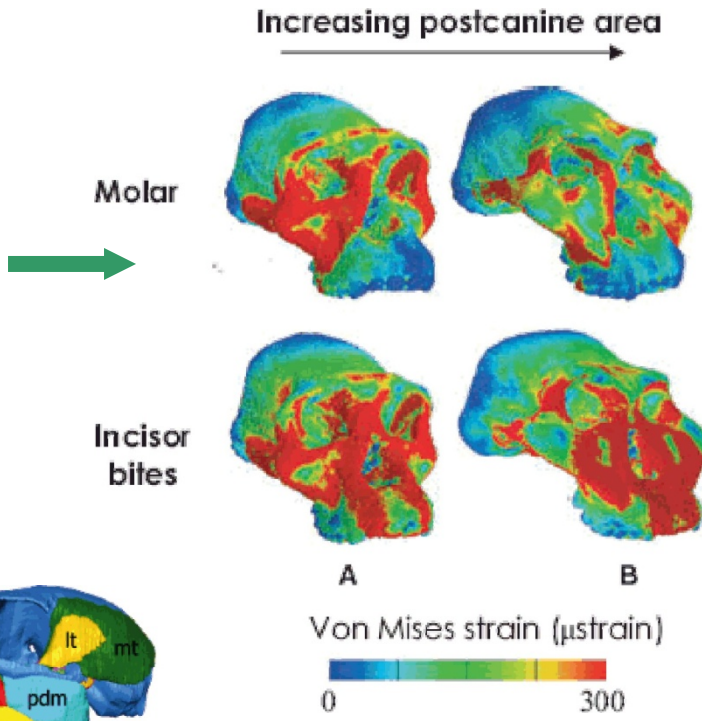
FEA широко используется в медицине, например, в ортопедии



Компьютерное моделирование в зоологии, палеонтологии, антропологии

Например:

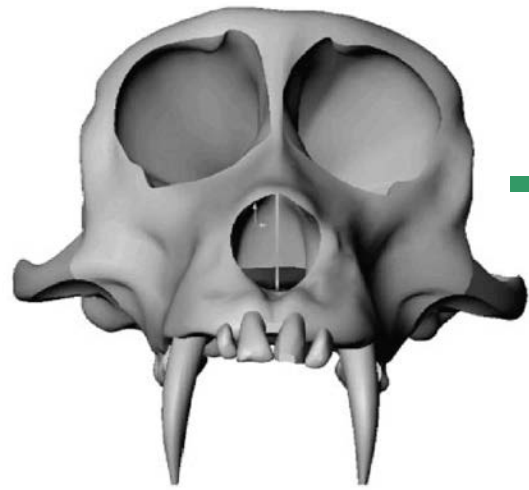
Реконструкция диеты ископаемых гоминид (O’Higgins et al., 2010)



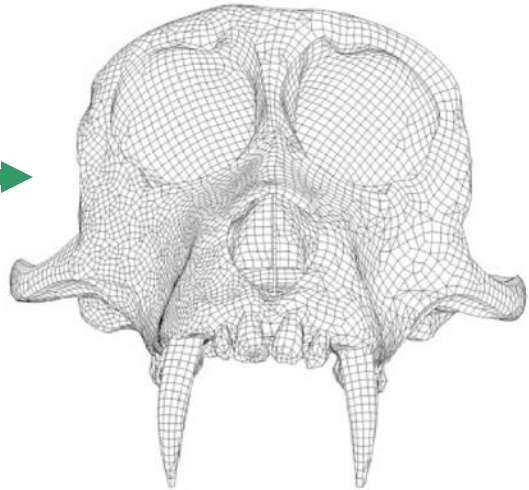
Сопоставления эффективности жевательного аппарата у грызунов, имеющих разные типы жевательной мускулатуры (Cox et al., 2011)

Анализ конечных элементов (FEA или FEM) – это метод биомеханики, который позволяет оценивать нагрузки и деформации, приходящиеся на компьютерные модели объектов при воздействии на них внешних сил. Этот метод заключается в разбиении объекта на большое число конечных элементов, смещения и растяжения которых оцениваются в дальнейшем анализе.

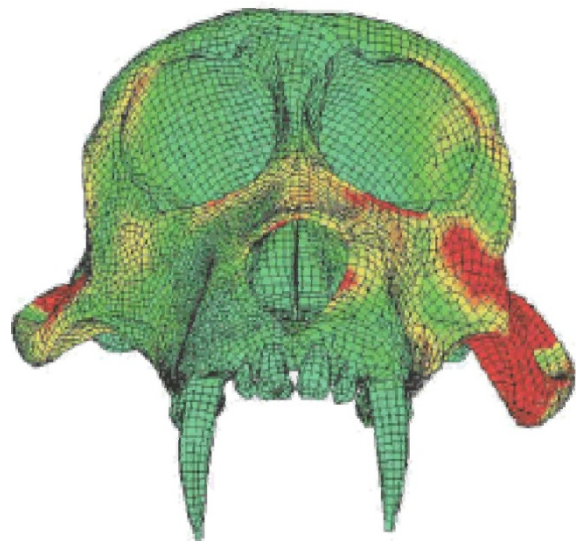
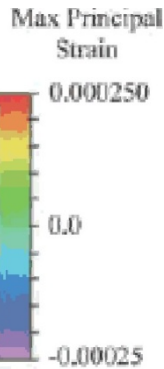
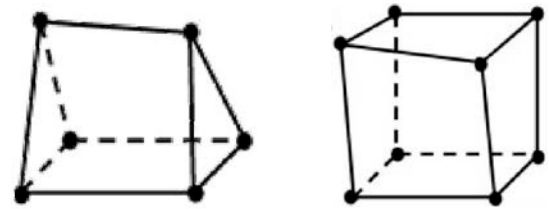
Монолитная модель
(Solid model)



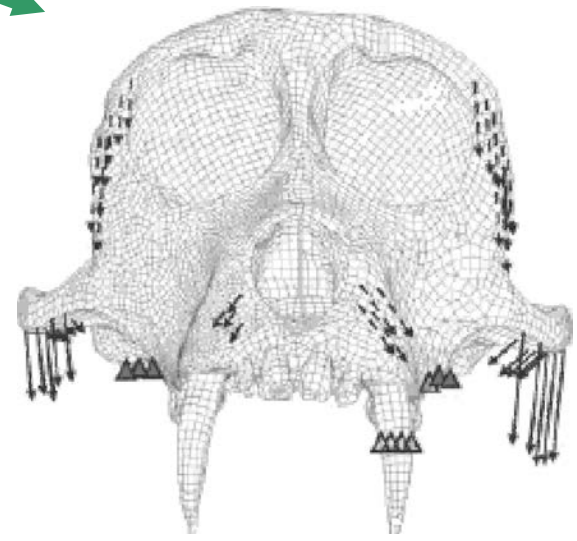
«Сеть» (FE mesh)



Варианты формы конечных элементов, считающиеся наиболее оптимальными



Результат: карта
распределения
деформаций
(относительное изменение
длин конечных элементов)
при заданной силовой
нагрузке



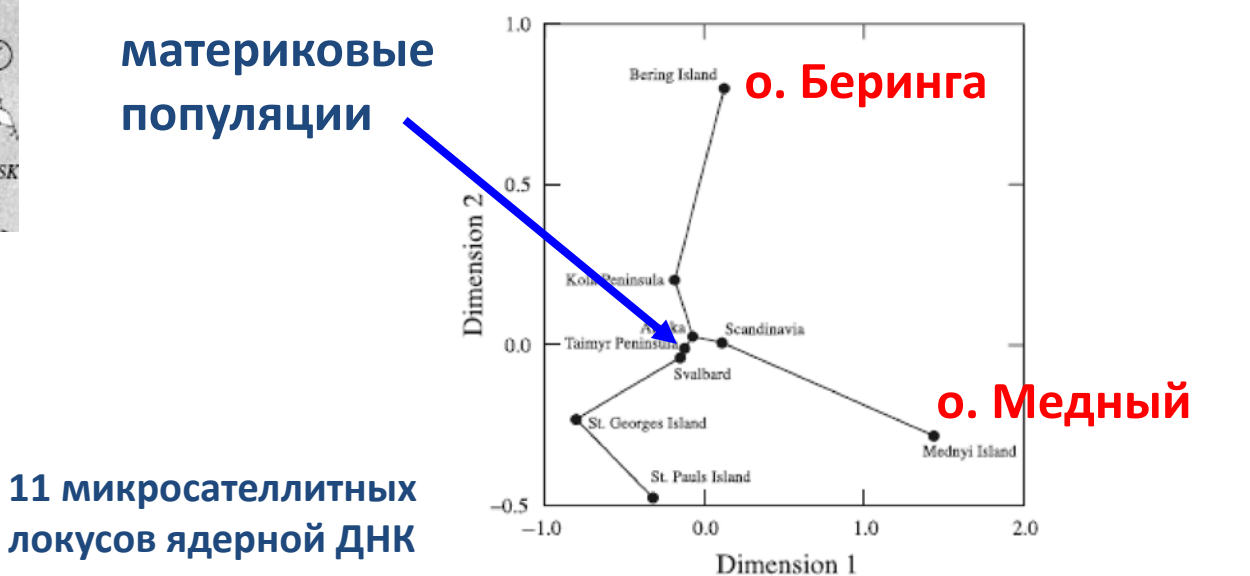
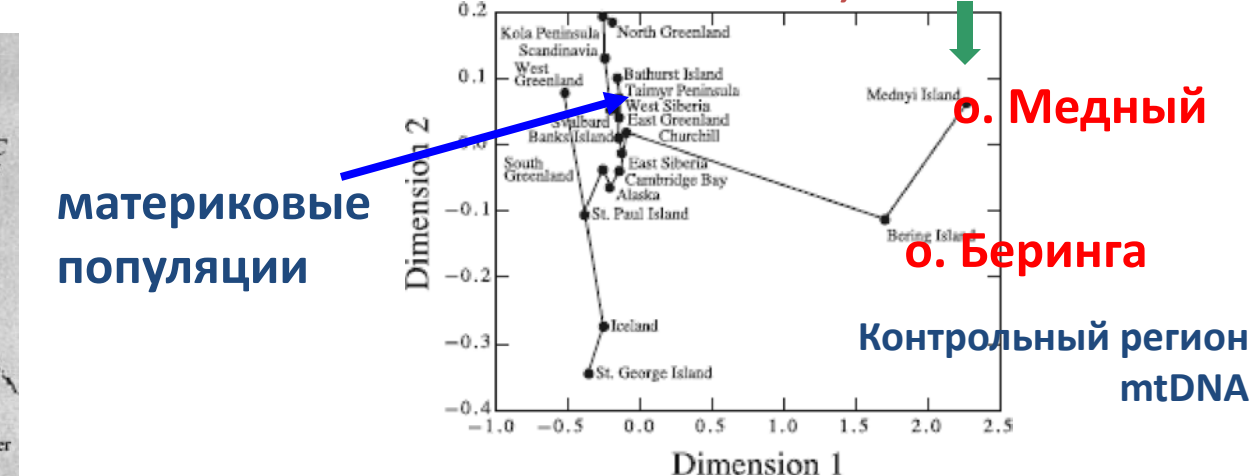
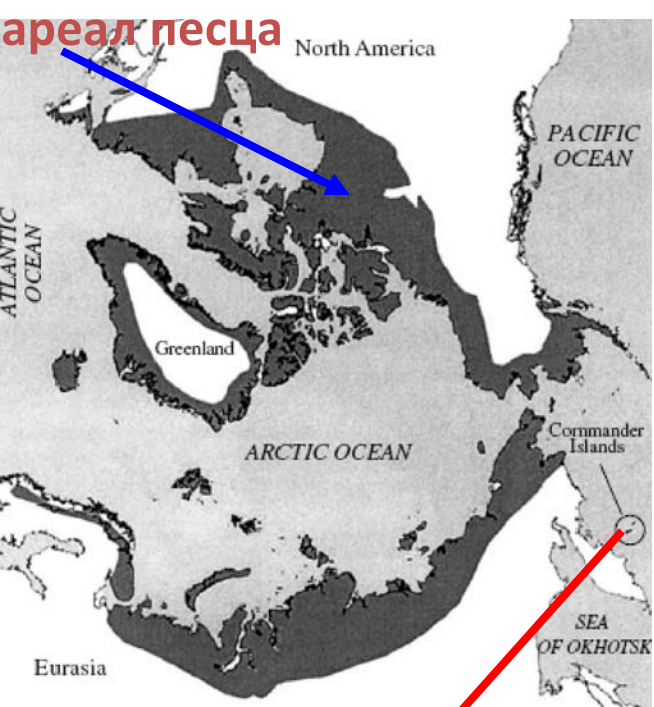
Моделирование действия
мускулатуры

Comparison of cranial performance between mainland and two island subspecies of the Arctic fox *Vulpes lagopus* (Carnivora: Canidae) during simulated biting

OLGA NANOVA^{1*}, MIGUEL PRÔA^{2,3}, LAURA C. FITTON⁴, ANDREJ EVTEEV⁵ and PAUL O'HIGGINS⁴

Морфологическая изменчивость и функциональная морфология песцов

Песцы Командорских островов (о. Медный *Vulpes lagopus semenovi* Ognev, 1931 и о. Беринга *V.l.beringensis* Merriam, 1902) изолированы от материковой популяции *V.l.lagopus* Linnaeus, 1758 незамерзающей акваторией Берингова моря на краю ареала в необычных для песцов условиях (теплые зимы, отличающаяся кормовая база) в течение эволюционно значимого времени (Goltsman et al., 2005). **Geffen et al., 2007**



Кормовая база песцов Командорских островов отличается от кормовой базы материковых песцов

На материке основным кормовым ресурсом являются грызуны (Гептнер, Наумов, 1967; Frafjord, 1992; Angerbjorn et al., 1999)

род *Lemmus*



Командорские острова – подавляющую долю в питании составляют морские птицы (глупыши, качурки, кайры, ипатки; Загребельный, 2000; Гольцман, Нанова, Сергеев, Шиенок, 2010)



Fulmarus glacialis

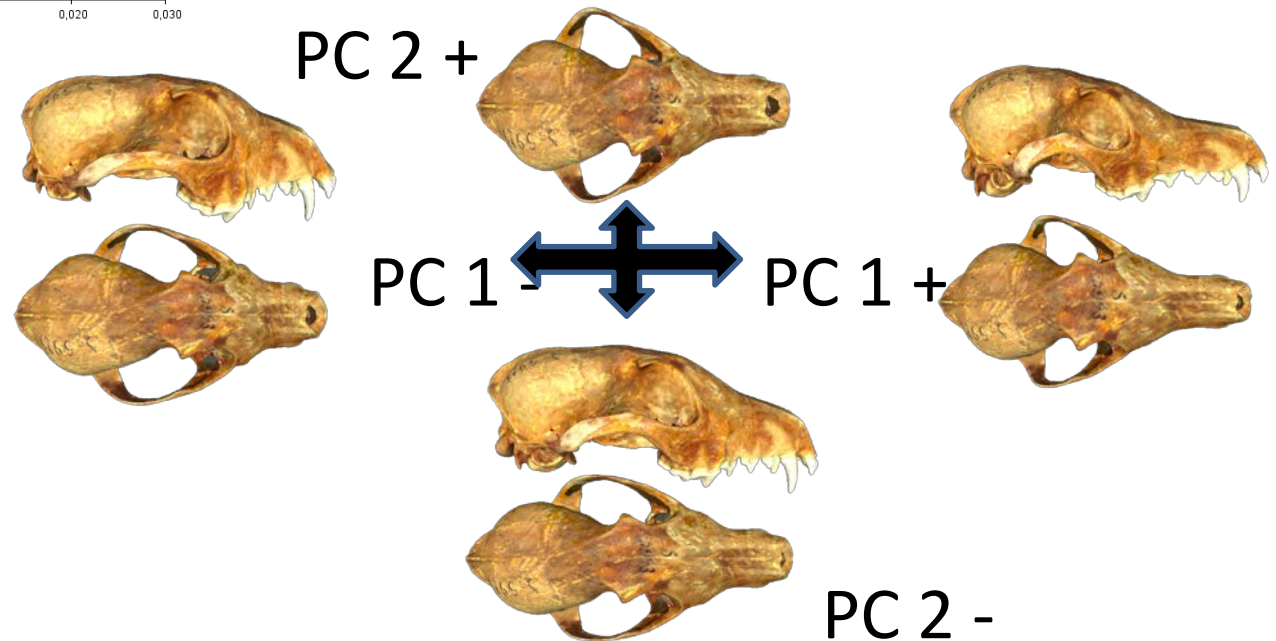
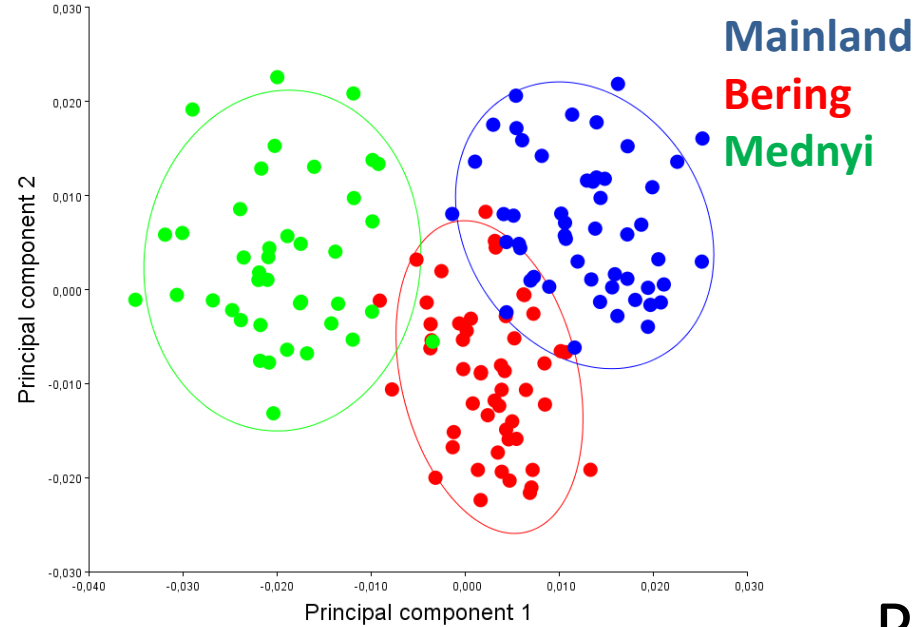


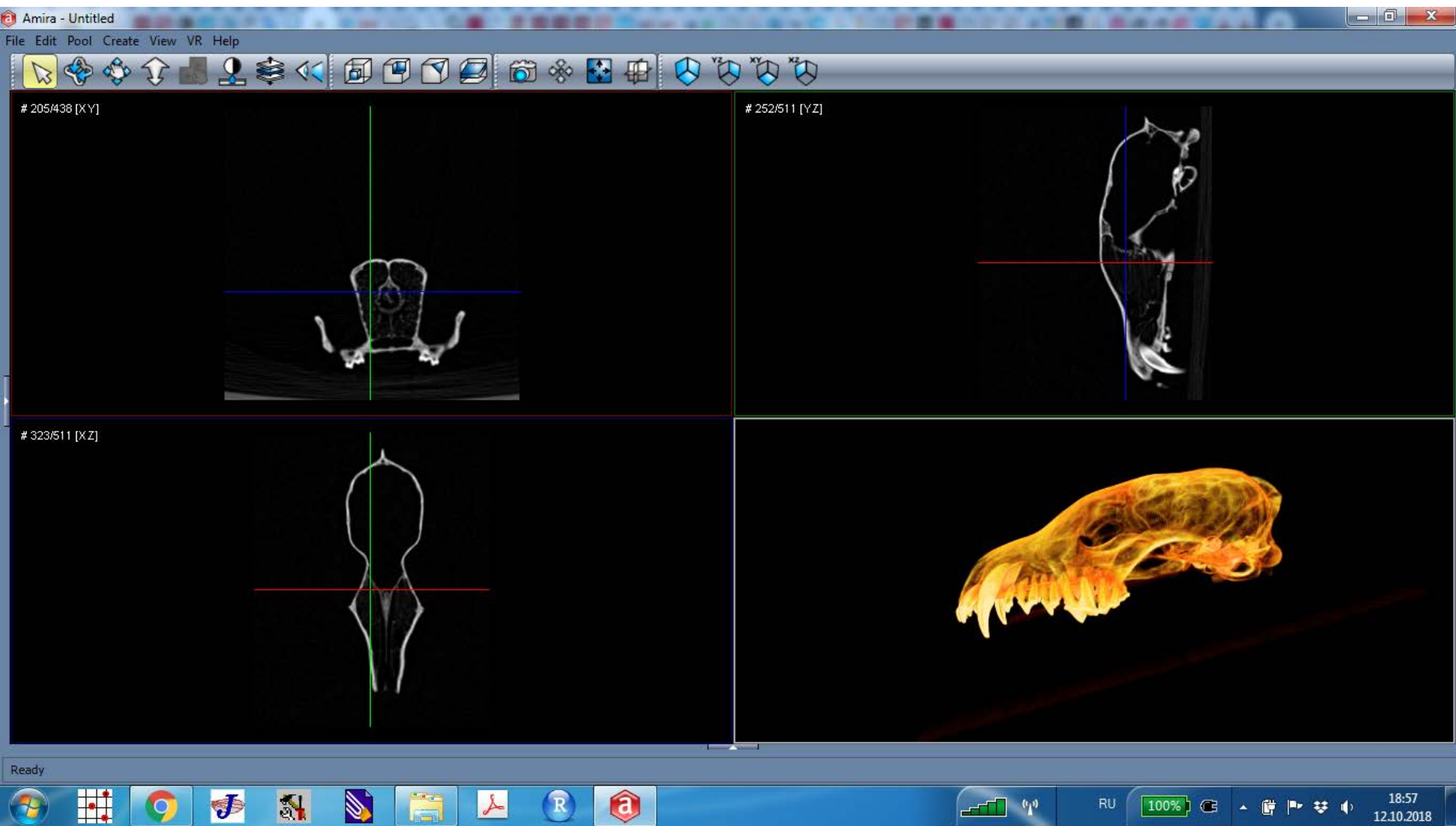
Callorhinus ursinus

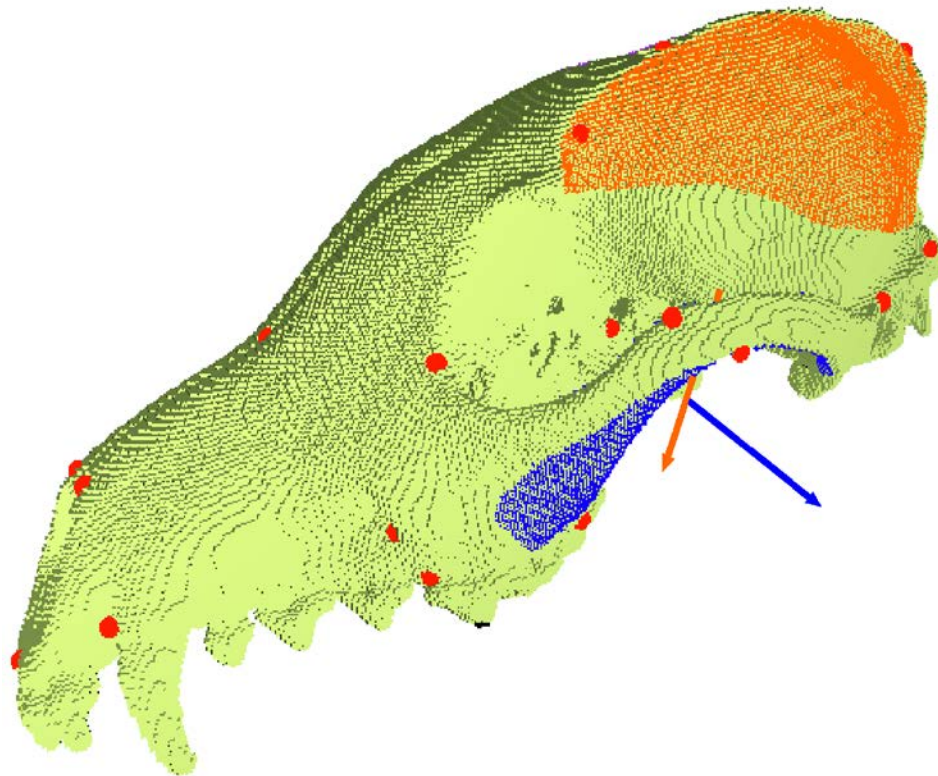


Enhydra lutris

PCA with regression residuals for the three populations (without size)

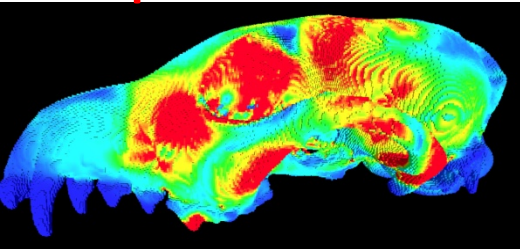




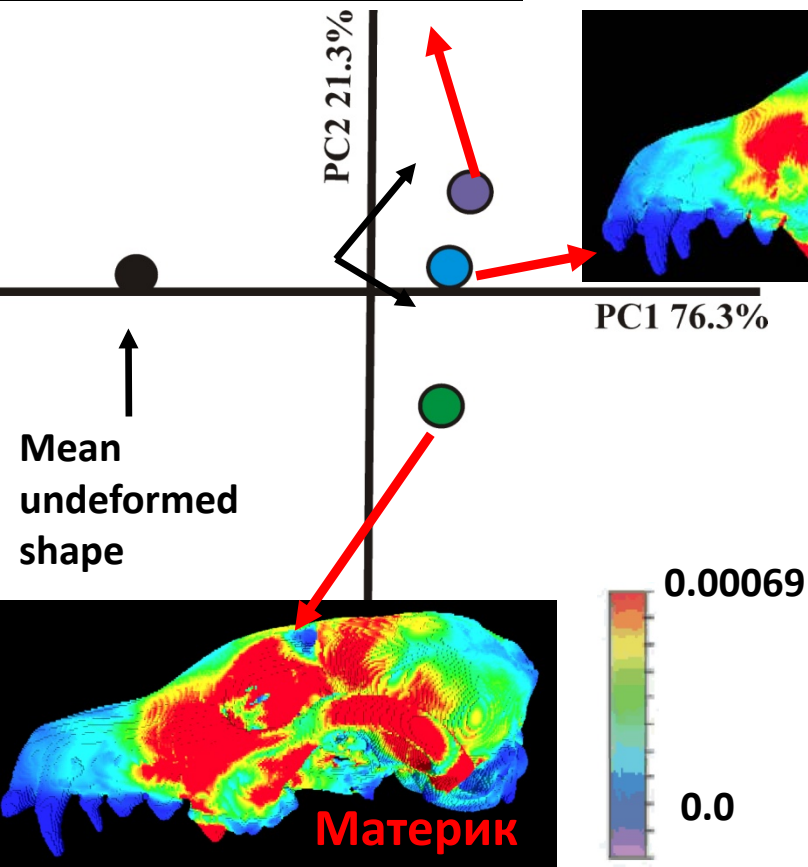
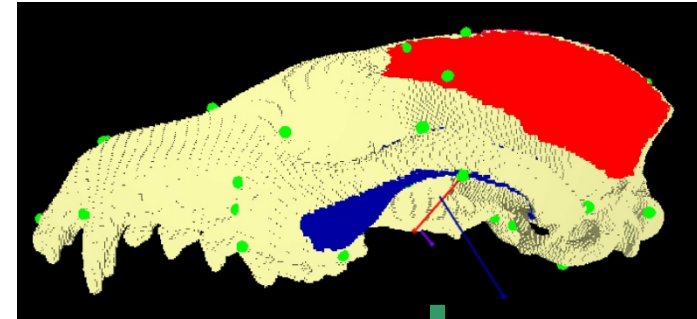
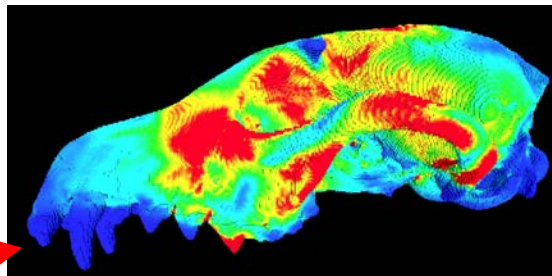


Комбинация анализа конечных элементов и геометрической морфометрии

о. Беринга



о. Медный



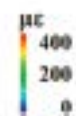
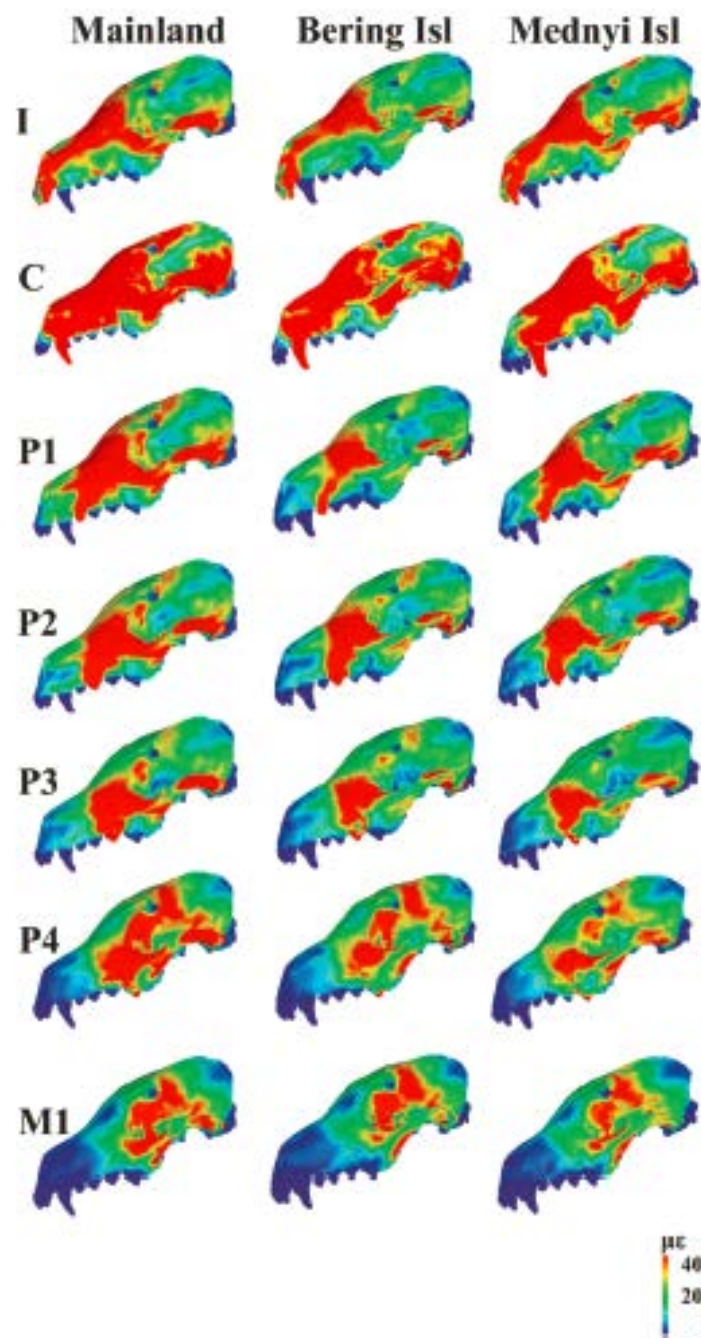
Исходные

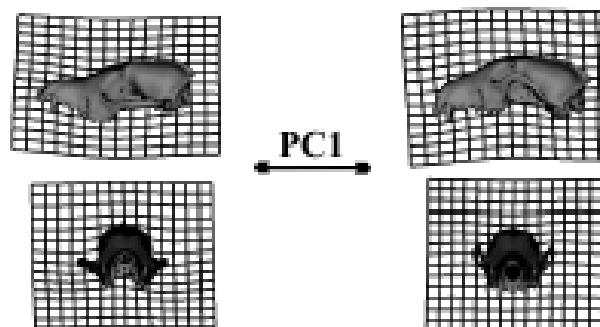
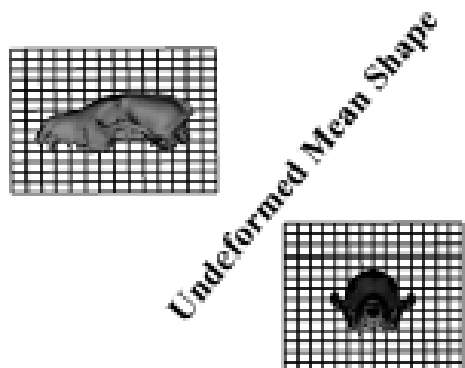
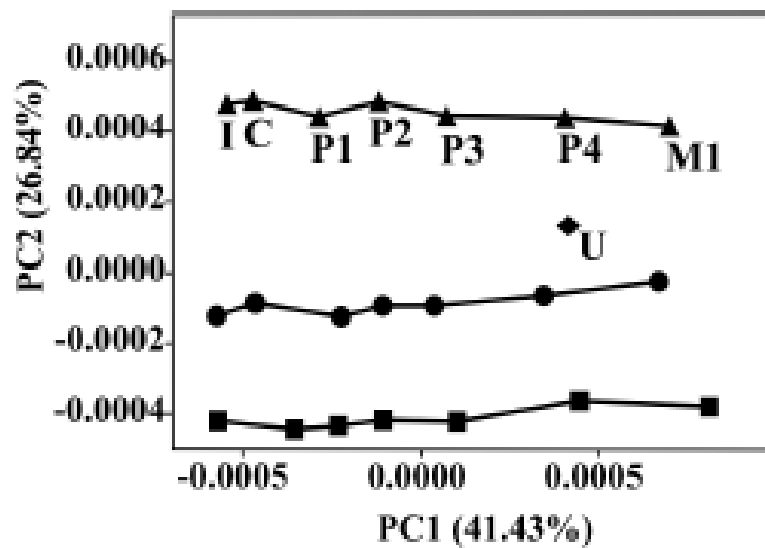
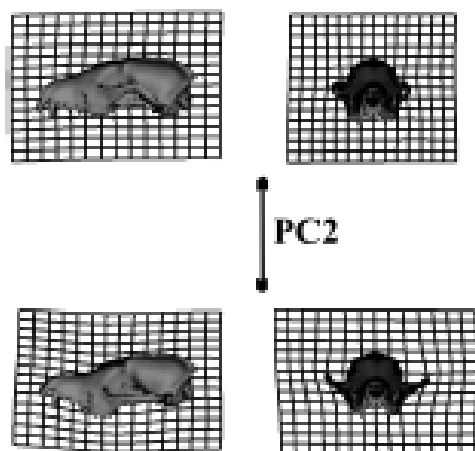
координаты

Новые

координаты

	A	B	C	D	E	F
1	original X	original Y	original Z	new X	new Y	new Z
2	43.7395	55.3515	6.55162	43.722	55.37	6.5987
3	44.7624	62.8375	48.115	44.72	62.78	48.163
4	45.7297	42.7926	101.478	45.696	42.69	101.49
5	46.4563	16.0999	137.9	46.477	15.98	137.89
6	44.3442	21.8301	10.1698	44.346	21.85	10.168
7	44.0067	33.2595	5.54047	44.002	33.28	5.5551
8	68.0198	29.0766	27.2	68.019	29.08	27.206
9	20.1131	28.9131	28.2396	20.107	28.9	28.24
10	53.1878	57.6121	62.5183	53.142	57.58	62.562
11	35.0987	57.0986	62.5943	35.052	57.04	62.635
12	76.1013	41.9999	62.7417	76.084	41.94	62.676
13	13.9241	39.7859	65.414	13.838	39.57	65.377
14	79.035	34.3999	55.4802	79.071	34.31	55.46
15	11.3386	32.7999	58.989	11.247	32.56	58.976
16	67.1755	21.4071	71.8316	67.199	21.38	71.831
17	21.9961	21.69	72.8862	22.028	21.53	72.868
18	63.6331	39.3315	86.5647	63.617	39.31	86.579
19	26.6317	39.4446	87.2129	26.599	39.31	87.215
20	62.8676	23.2899	94.7101	62.891	23.27	94.712
21	27.7892	23.5705	95.2294	27.804	23.44	95.217
22	65.0999	15.8423	73.2575	65.128	15.82	73.259
23	24.3899	15.3423	74.6678	24.452	15.2	74.649





In conclusion, the two island subspecies and the mainland subspecies of Arctic fox showed phenotypic differences in cranial form, local strains, and largescale deformations of the cranium during biting simulations. These may mirror adaptations to different diets that set the mainland subspecies apart from the island subspecies

Спасибо за внимание!