Обращение с РАО

Токарев Игорь Владимирович
канд. геол.-мин. наук
вед. спец. РЦ РДМИ НП СПбГУ

Источники радиоактивности

ЯТЦ

Горное производство – добыча урана, нефтедобыча, редкие и цветные металлы, угольная промышленность

ТЭЦ

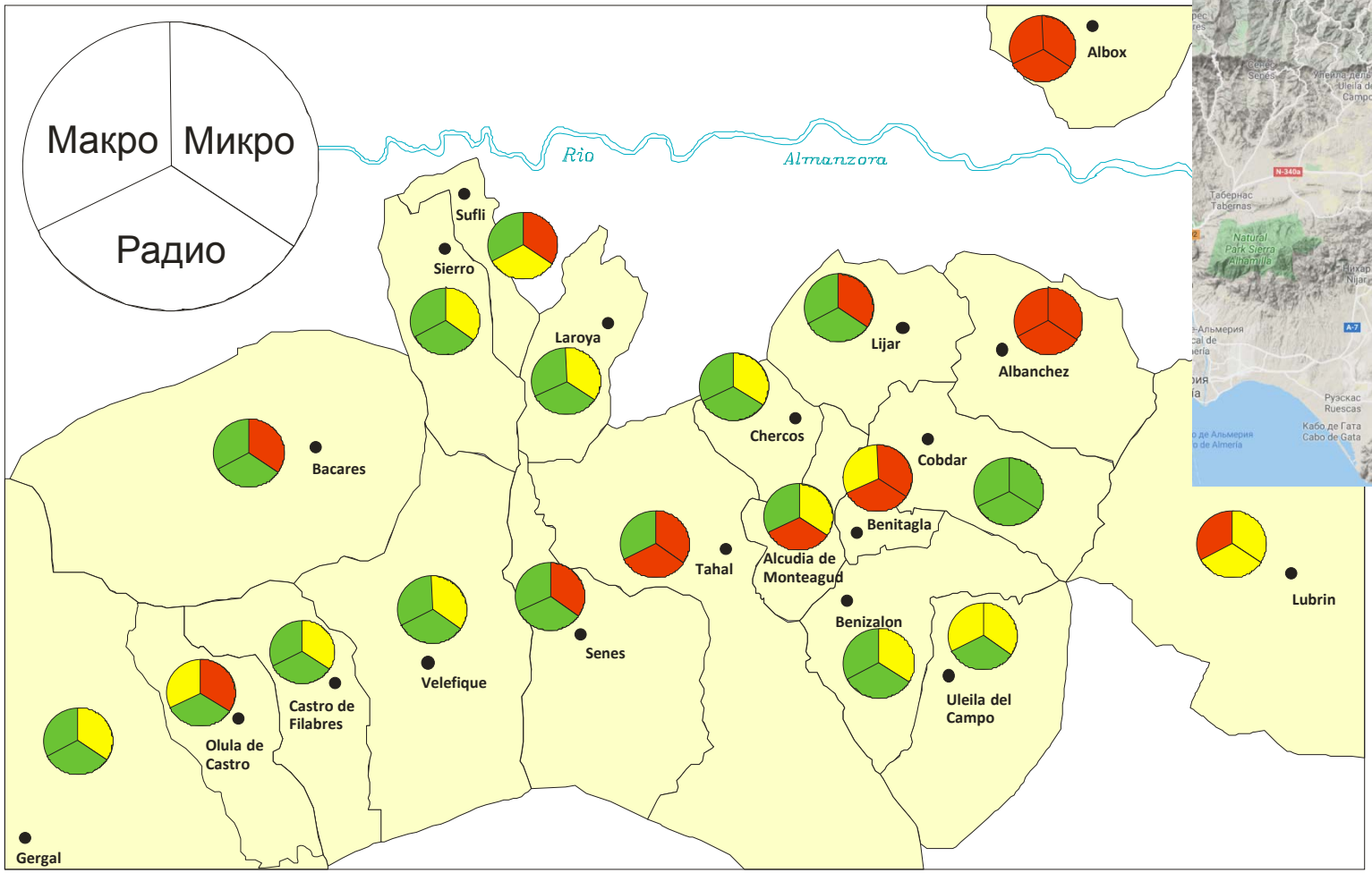
Химическая промышленность – фосфорные удобрения

Тритий – производство самосветящихся люминофоров (+термояд)

Природные

Природная радиоактивность

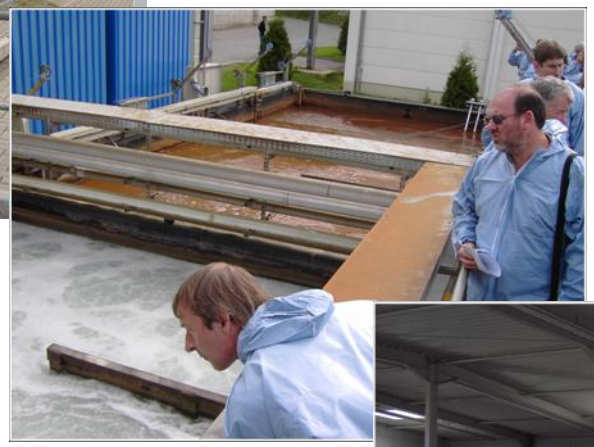
Провинция Альмерия (юго-восток Испании).
Имеет место корреляция между превышением норм по активности природных радионуклидов и повышенной онкологической заболеваемостью

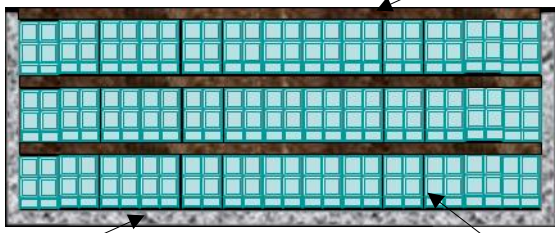


- удовлетворительное состояние
- на пределе допустимых норм
- превышение допустимых норм

Природная радиоактивность

Дренажные воды прекративших работу рудников имеют повышенные содержания природных радионуклидов, которые извлекаются на очистных станциях и складируются





Временное хранение (Бад Шлёма, Саксония, Германия)

Природная радиоактивность

В отвалах горных пород природными радионуклидами генерируется ^{222}Rn, который эманируется в окружающий воздух. Для предотвращения этого отвалы изолируются при помощи глиняного экрана.

Временное хранение (Бад Шлёма, Саксония, Германия)

Природная радиоактивность

В горнопромышленном районе выполняется мониторинг радиационного состояния среды, в том числе автоматическими станциями.

Временное хранение (Бад Шлёма, Саксония, Германия)

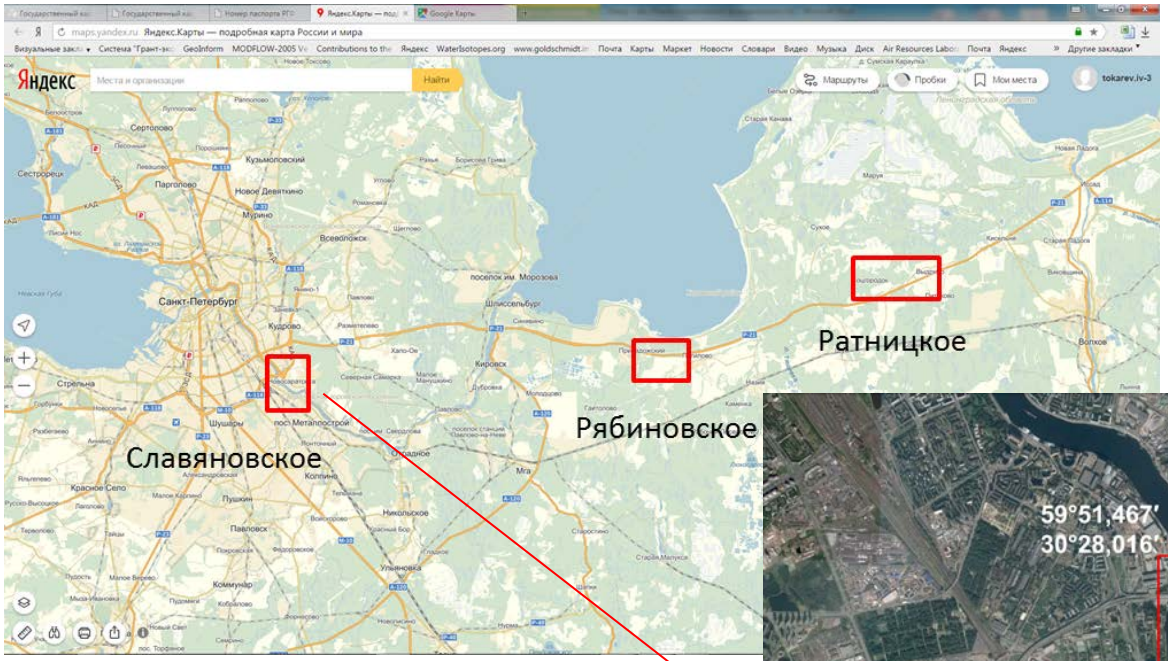
Природная радиоактивность

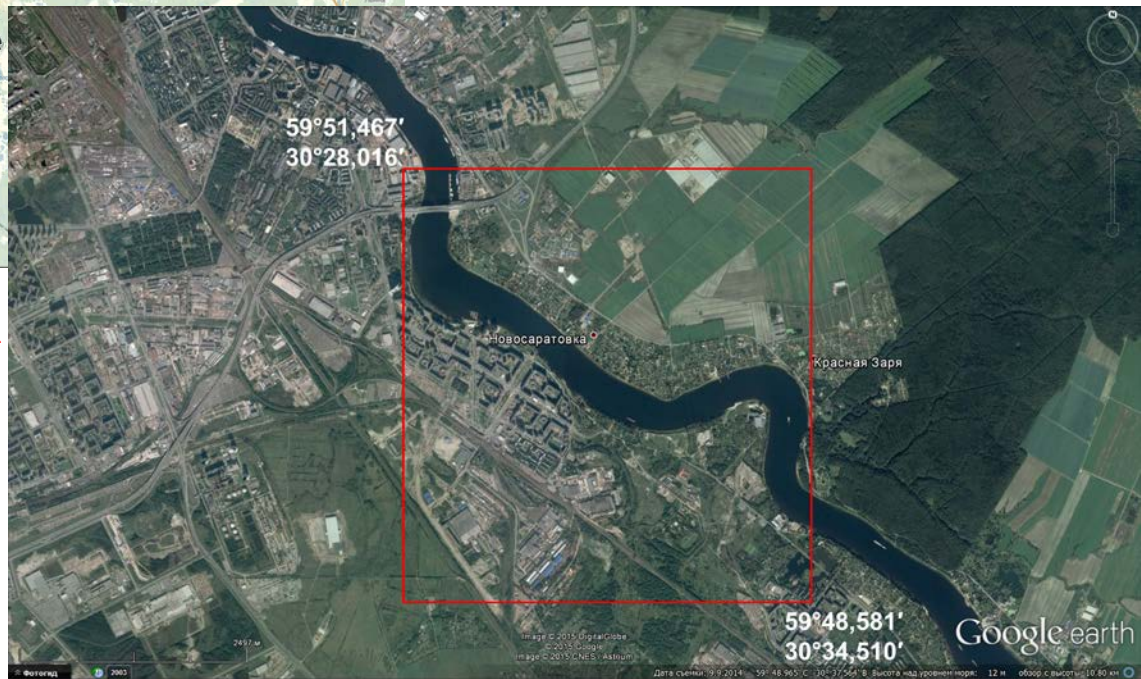
Инженерные мероприятия по нейтрализации радиационного воздействия позволяют использовать территорию для рекреационных целей.

Временное хранение (Бад Шлёма, Саксония, Германия)

Природная радиоактивность

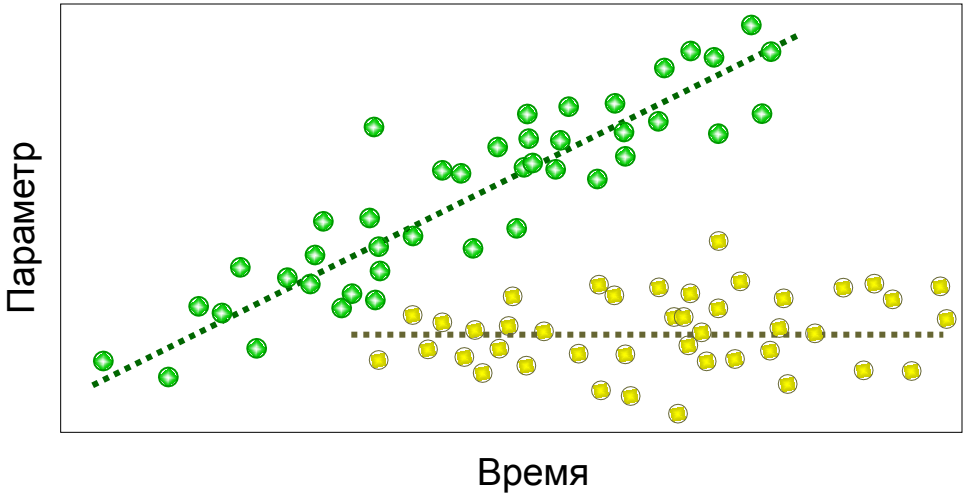
Базальные горизонты осадочного чехла в Ленинградской области содержат повышенные концентрации вторичных урановых минералов, которые образуют в некоторых случаях промышленно значимые месторождения, наиболее крупное из которых (Славяновское) расположено практически в черте города.

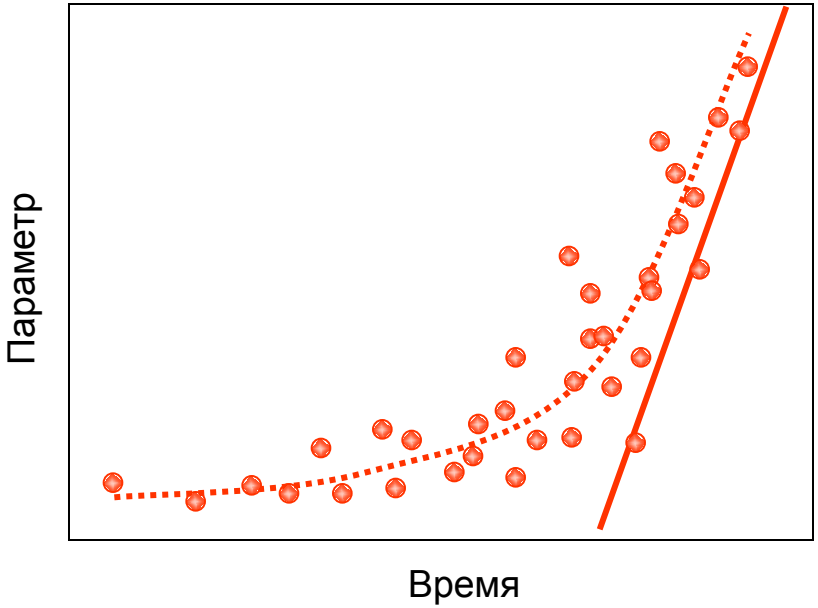


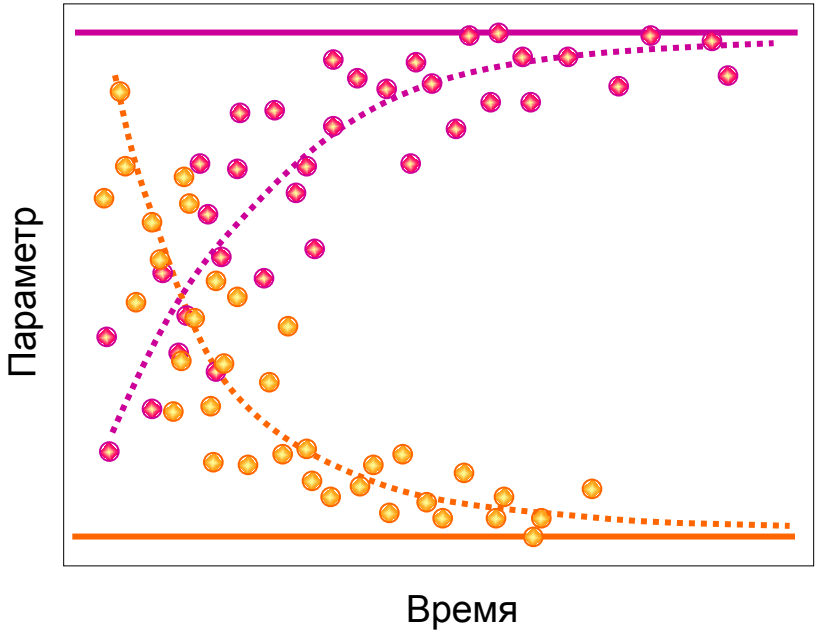


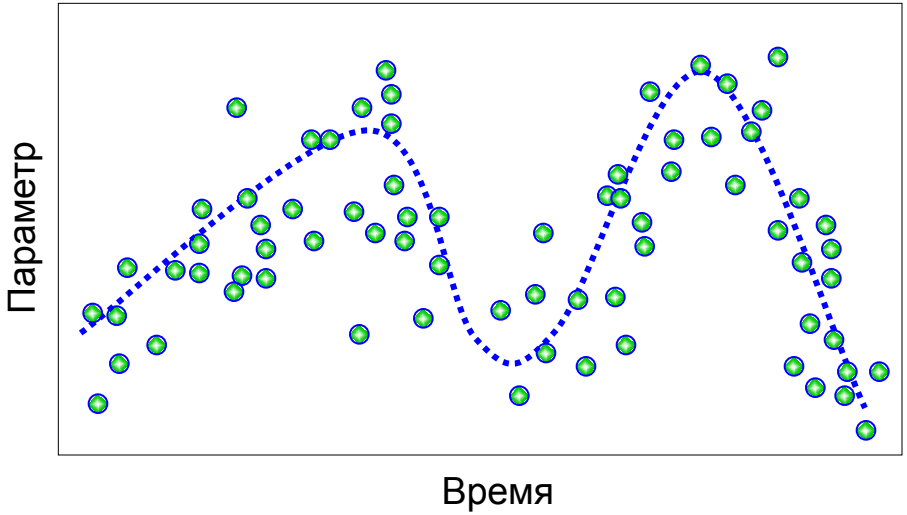
Вендский водоносный комплекс
Ленинградская область

Проблема прогноза









Проблема прогноза

(фактор времени)

Время полной самопроизвольной дезактивации ОЯТ

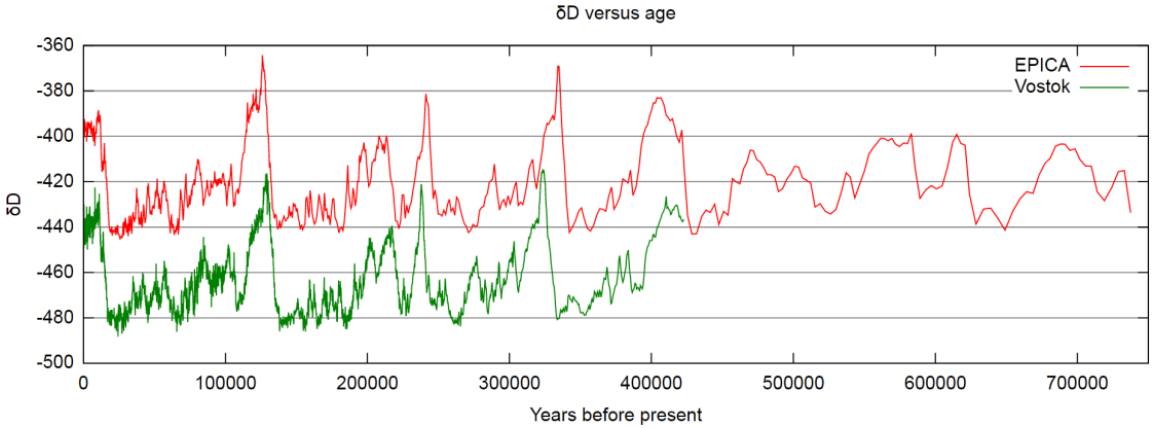
$$T \approx 1.3 \times 10^6 \text{ лет}$$

Ядерная энергетика. Азаренков Н.А., Булавин Л.А., Залюбовский И.И., Кириченко В.Г., Неклюдов И.М., Шиляев Б.А.

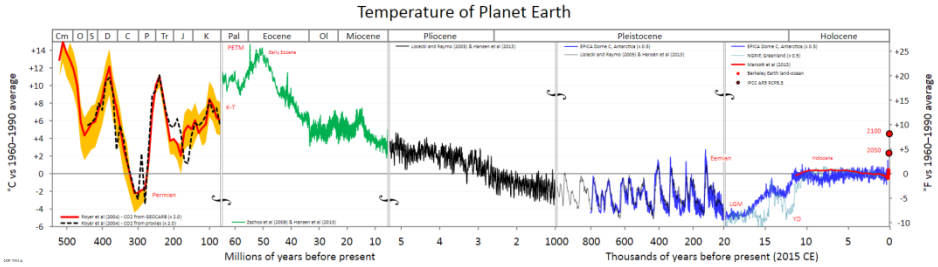
Проблема прогноза

(климатический фактор)

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/eb/%D0%9B%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D0%BF%D0%BE%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%B2_GISP2.svg

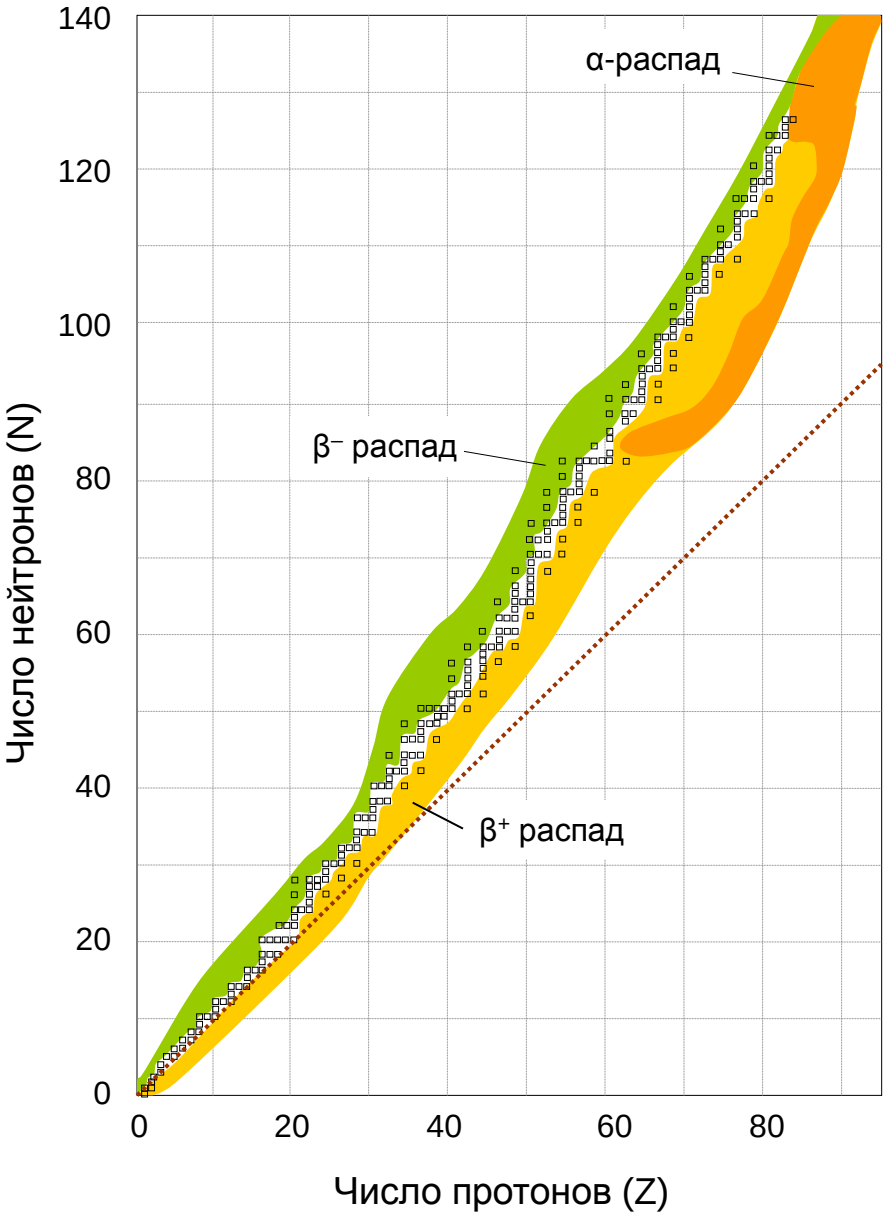


https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1e/EPICA_delta_D_plot.svg

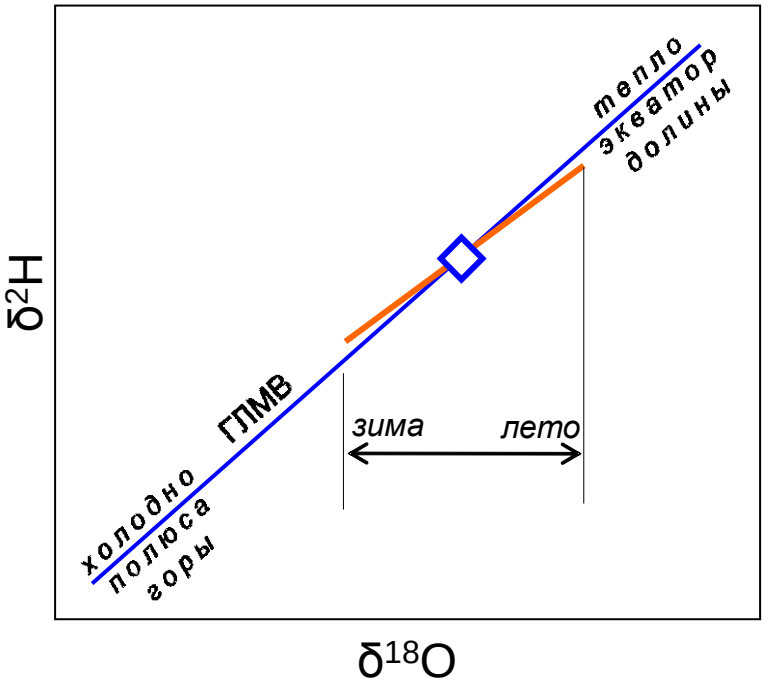


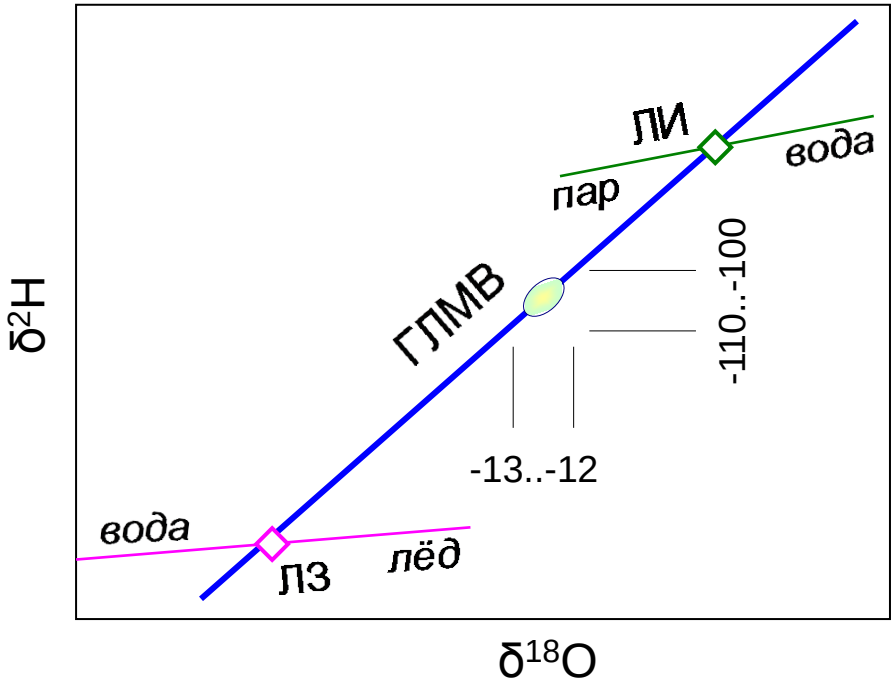
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5f/All_palaeotemps.svg

Систематика изотопов



Система дейтерий – кислород-18





Физические основы датирования

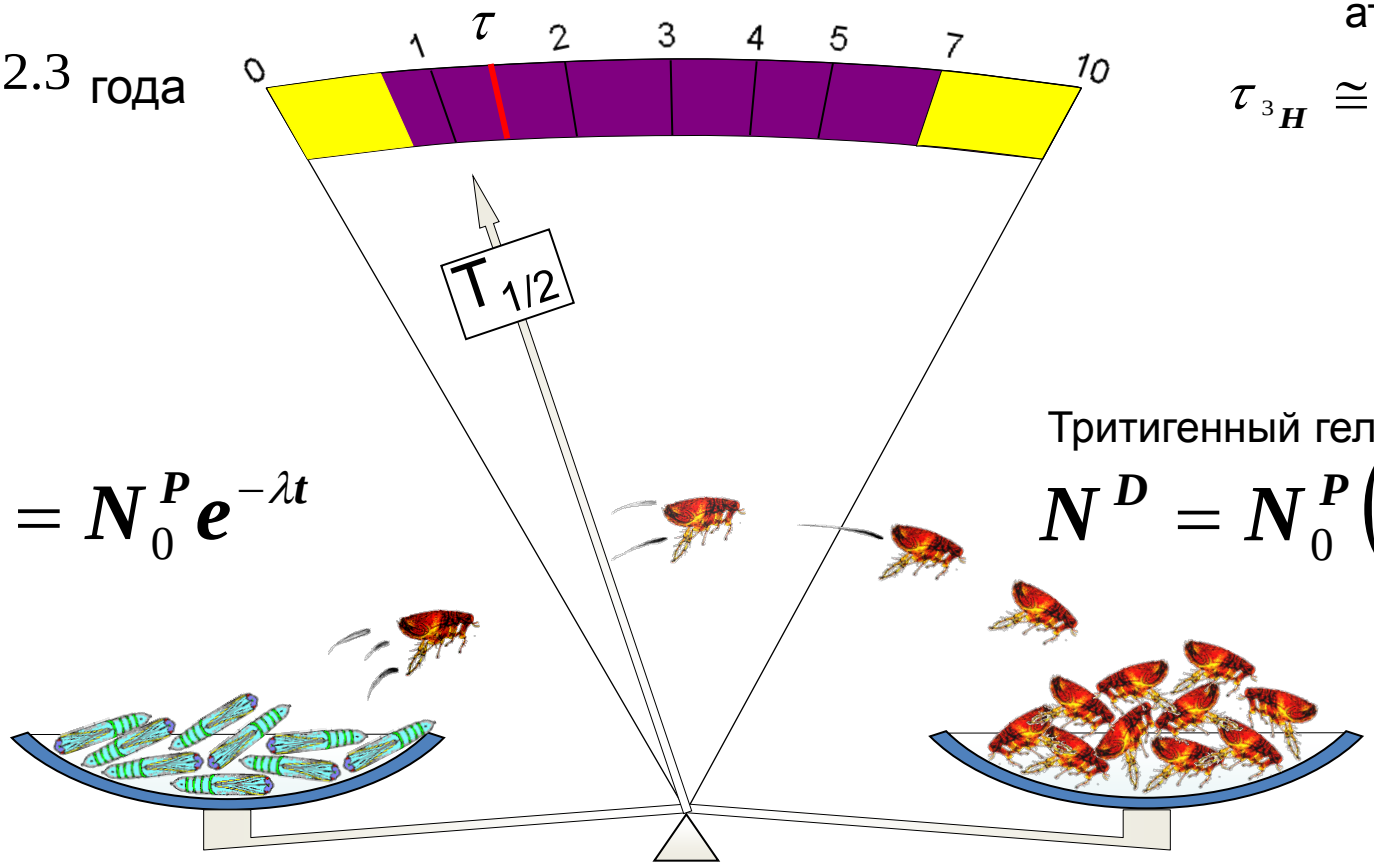
(радиоактивные и радиогенные изотопы в замкнутых системах)

Период полураспада трития:

$$T_{1/2}^{\,^3H} \cong 12.3 \text{ года}$$

Среднее время жизни атома трития:

$$\tau_{^3H} \cong 17.7 \text{ лет}$$



Тритий:

$$N^P = N_0^P e^{-\lambda t}$$

Тритигенный гелий-3:

$$N^D = N_0^P \left(1 - e^{-\lambda t}\right)$$

$$T_{1/2} = \tau \ln 2 = \frac{\ln 2}{\lambda} \qquad \tau = \frac{1}{\lambda} \qquad \ln 2 \approx 0.693$$

Радиоактивные изотопные системы

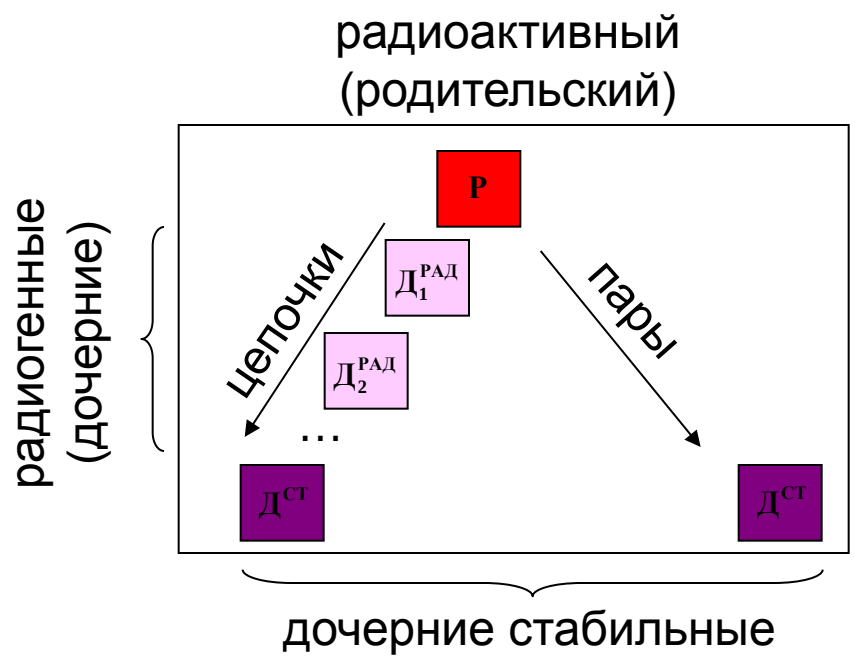
Радиоактивные пары

$$I^{P}_{RAD} \rightarrow I^{D}_{STAB}$$

Радиоактивные ряды
(цепочки)

$$I^{P}_{RAD} \rightarrow I^{D_1}_{RAD} \rightarrow \ldots \rightarrow I^{D_i}_{RAD} \rightarrow I^{D_{i+1}}_{STAB}$$

^{238}U, ^{235}U, ^{232}Th



Некомплиментарные системы:

известно содержание только родительского или дочернего изотопов

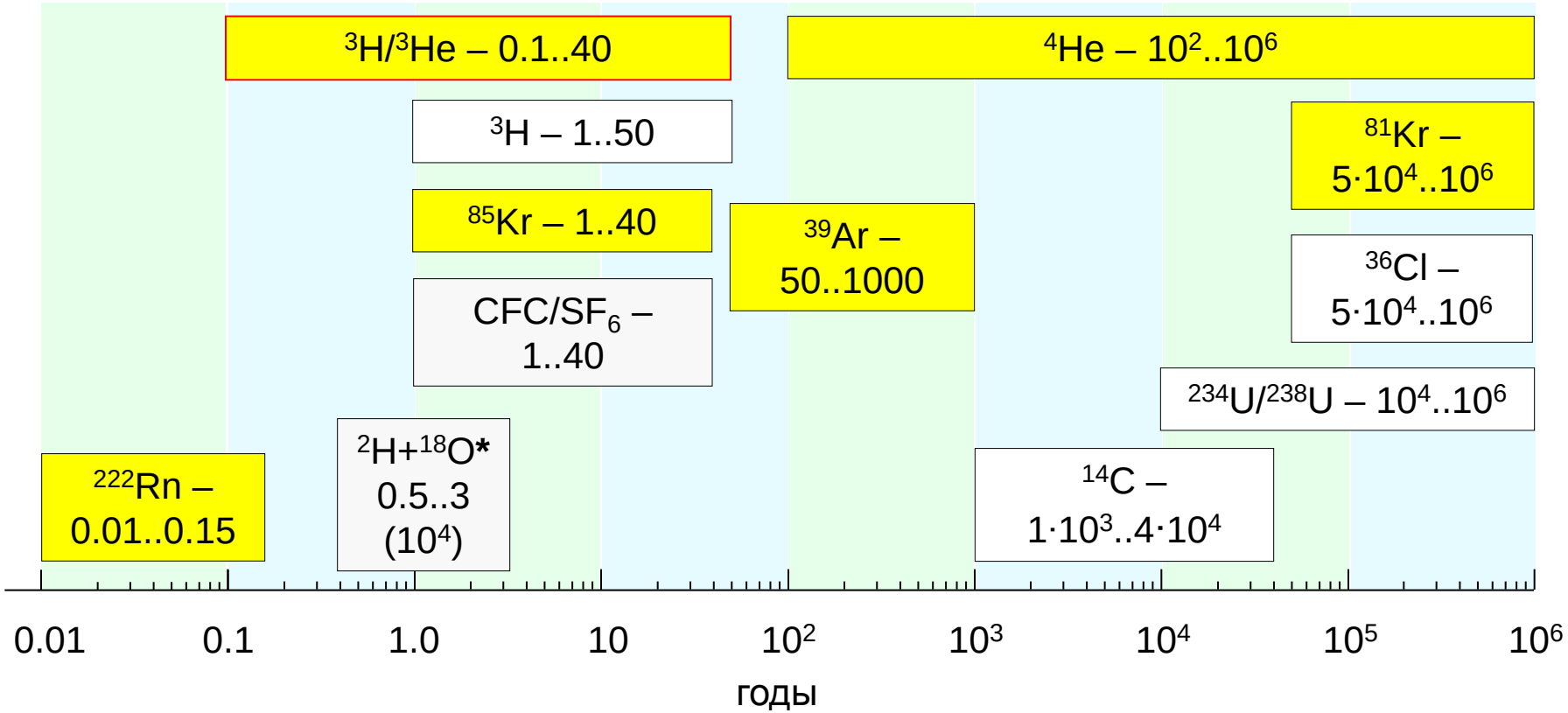
Комплиментарные системы:

известно содержание и родительского и дочернего изотопов

Радиоактивные изотопные системы

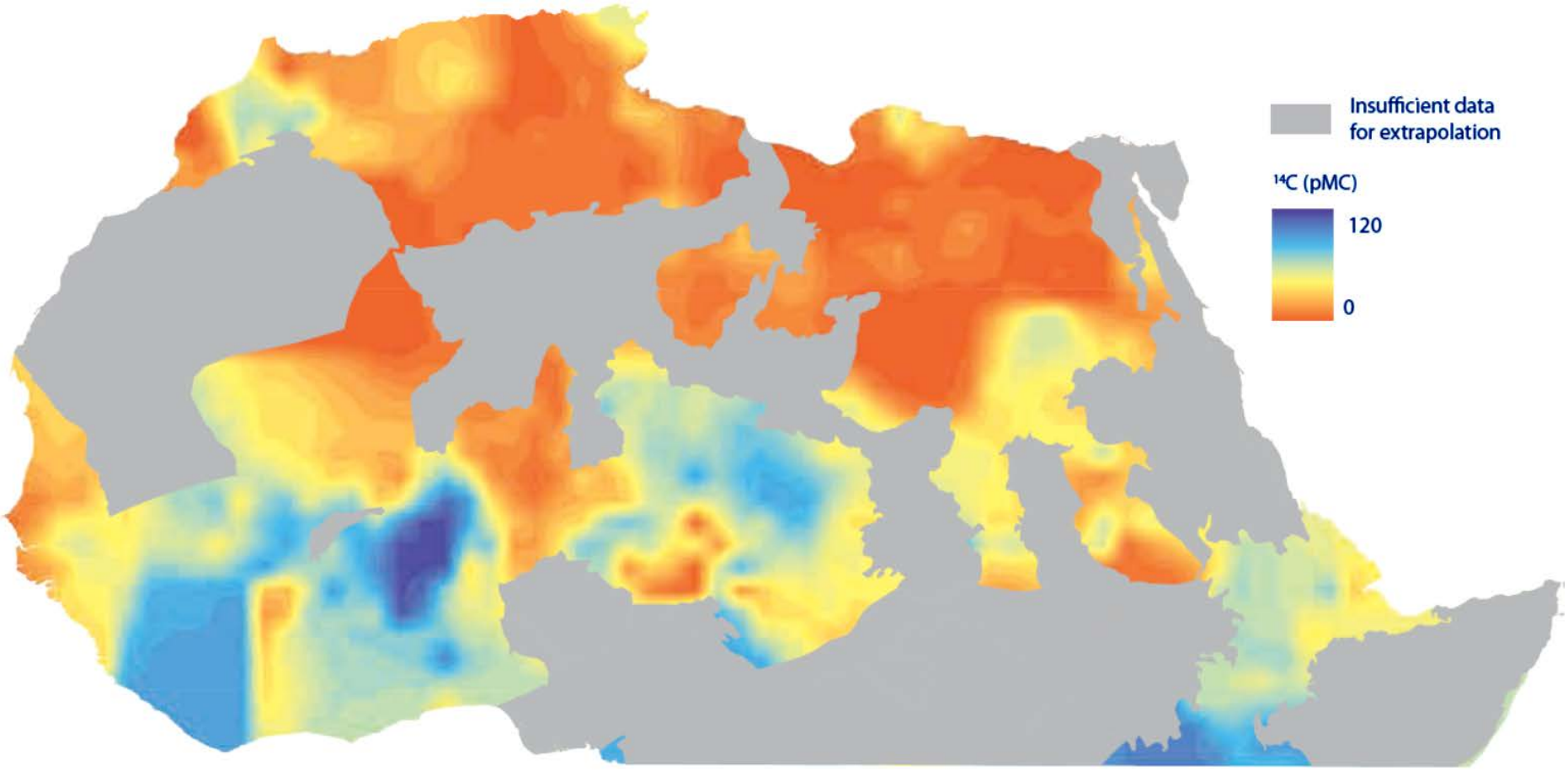
МАГАТЭ:

научно обоснованным признается прогноз до 10 000 лет, далее следуют оценки



(*IAEA. Isotope methods for dating of old groundwater. Vienna, 2013*)

Масштабы изотопного датирования

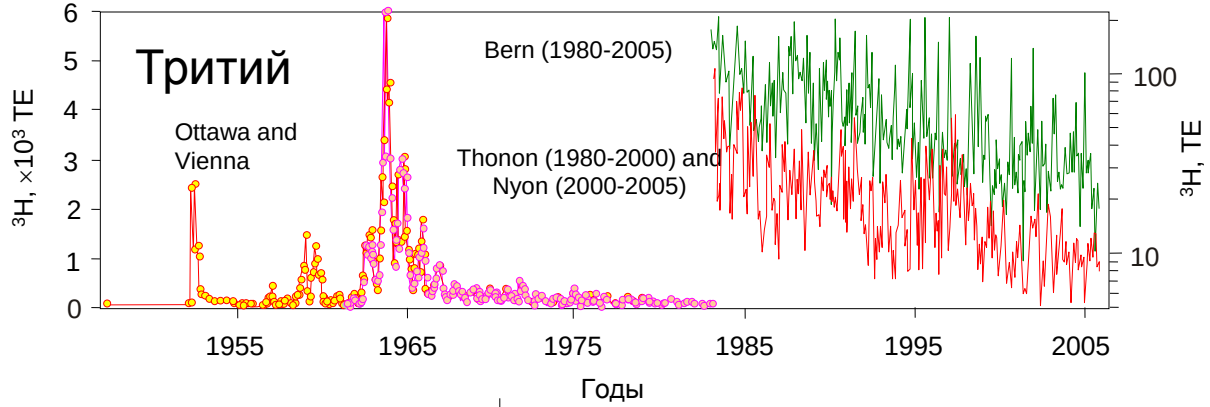


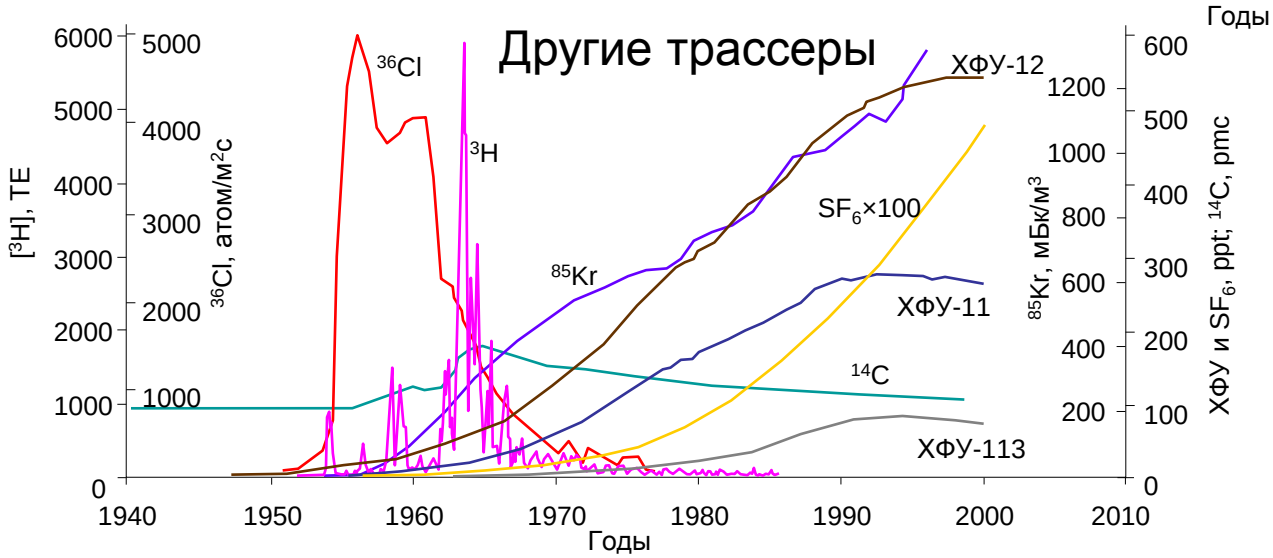
Distribution of ^{14}C in groundwater in northern Africa

(*IAEA. Isotope methods for dating of old groundwater. Vienna, 2013*)

Поступление изотопов в подземную гидросферу

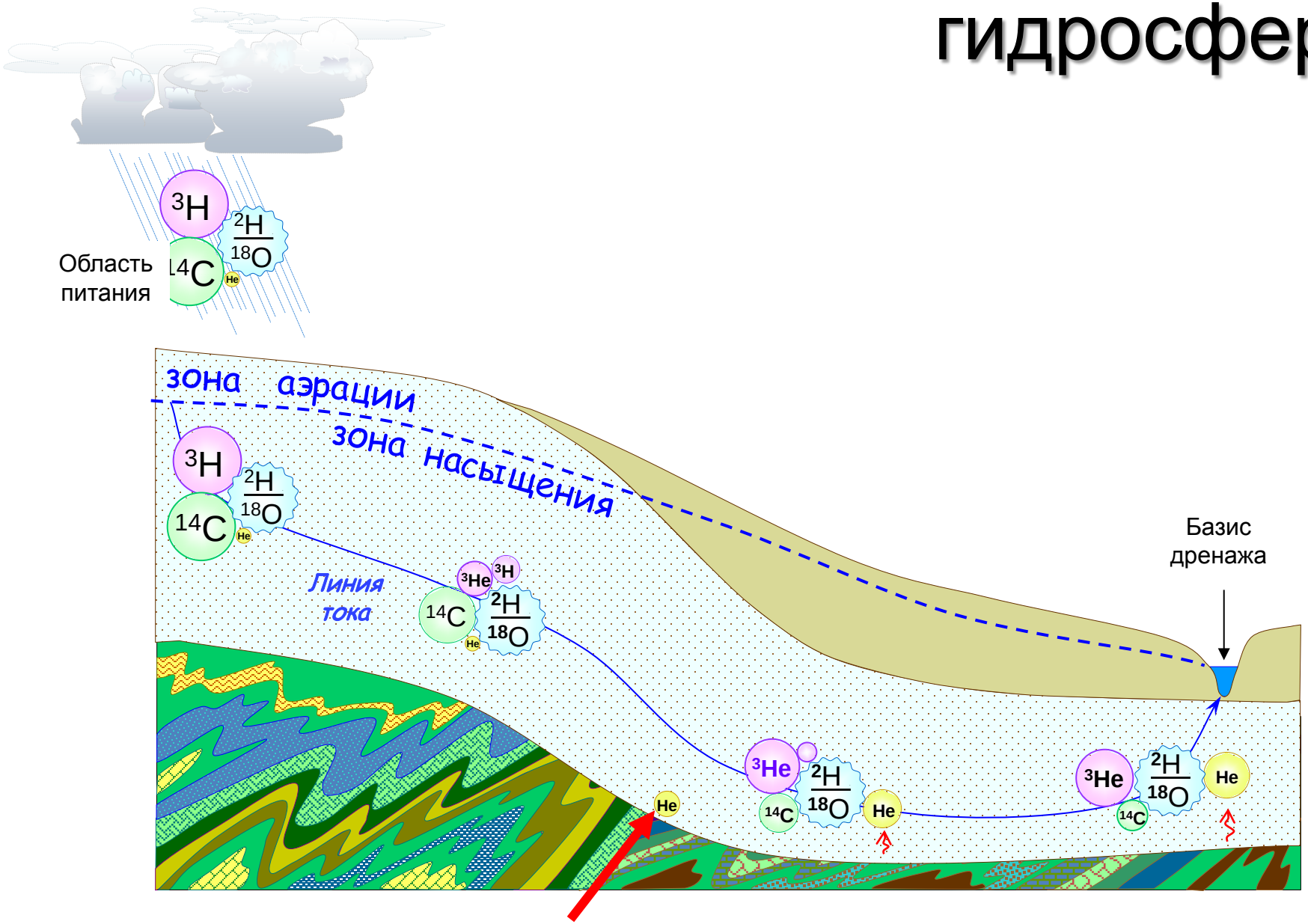
С атмосферными осадками поступают радиоактивные (^{3}H, ^{14}C…) и стабильные (^{2}H, ^{18}O…) изотопы, а также благородные газы





Corcho Alvarado et al., 2005; Böhlke 2002 с изменениями

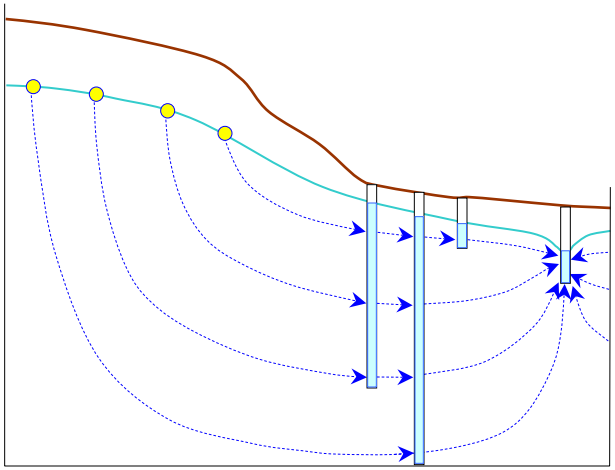
Поведение изотопов в подземной гидросфере



Определение термина «возраст» подземных вод

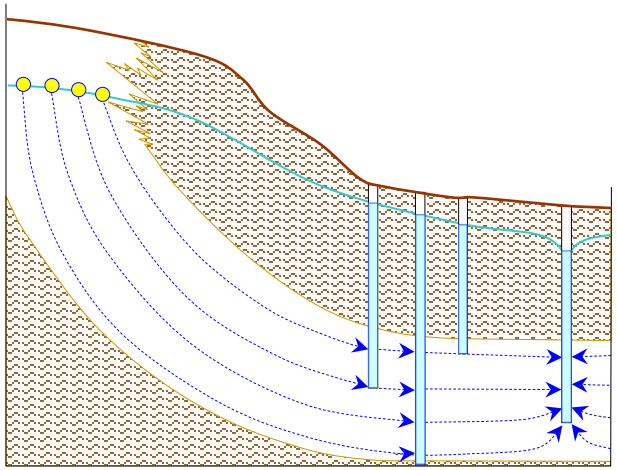
Возраст – время, прошедшее с момента образования объекта.
Для подземных вод за точку отсчета можно принять момент поступления инфильтрационного питания в зону насыщения.

Безнапорный (грунтовый) горизонт с открытой верхней границей



$$\bar{\tau} = \frac{\sum Q^k \tau^k}{Q}$$

Напорный (артезианский) горизонт с удаленной областью питания



$$\tau = \frac{l}{\bar{v}}$$

(U + Th)/^{4}He датирование подземных вод

$$^{238}U \rightarrow {}^{206}Pb + 8\ {}^{4}He$$

$$^{235}U \rightarrow {}^{207}Pb + 7\ {}^{4}He$$

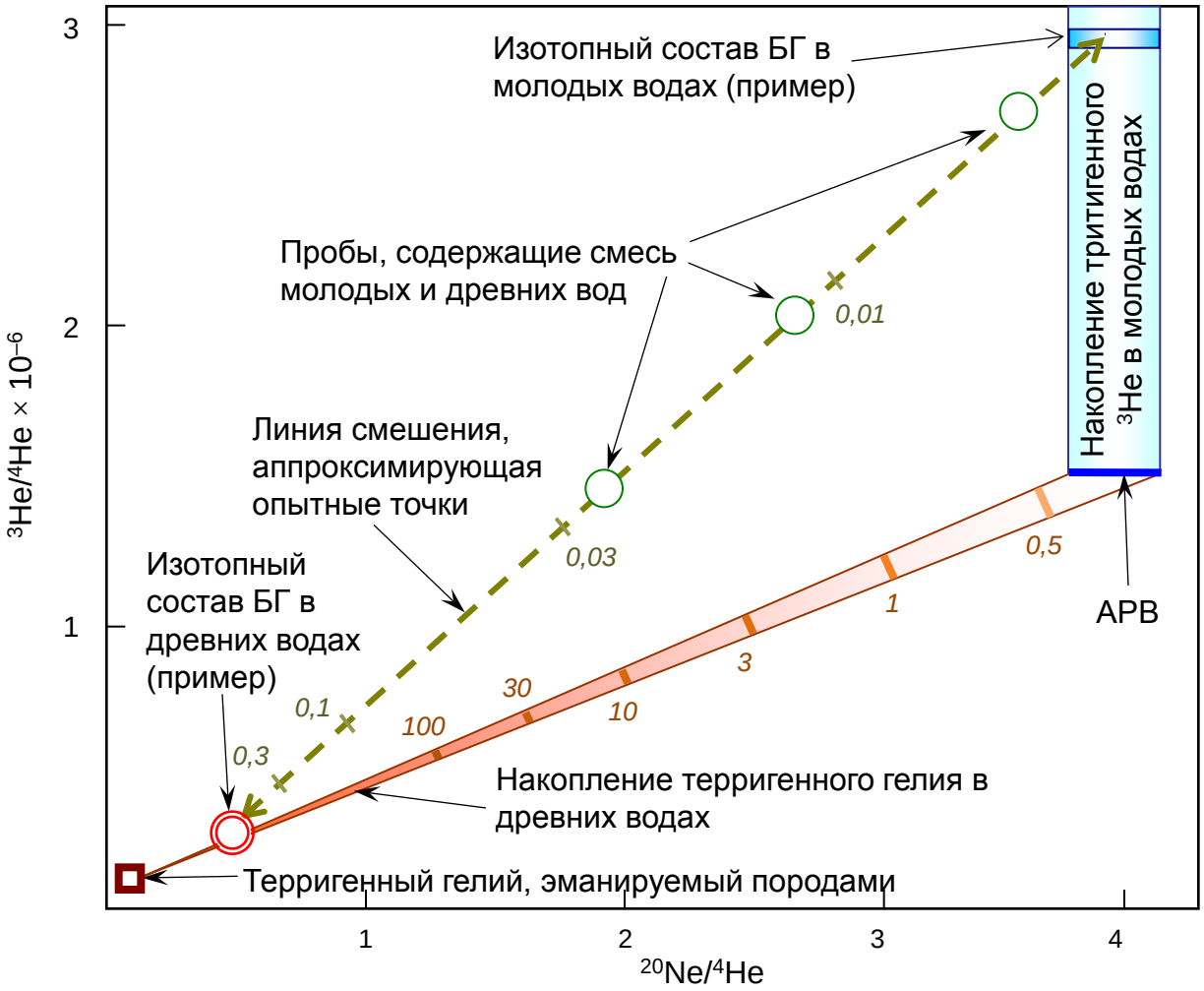
$$^{232}Th \rightarrow {}^{208}Pb + 6\ {}^{4}He$$

Гелий – инертный газ, легко покидающий минералы, в которых он генерируется

$$T = [{}^{4}He]/R_{He}$$

R_{He} – функция концентрации родительских изотопов в породе и объема порового пространства

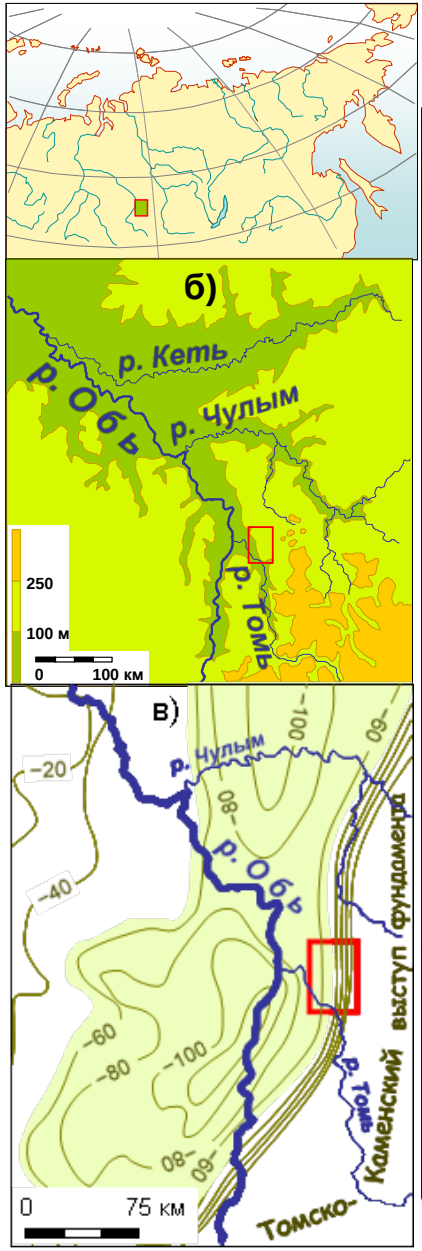
Получение исходных данных для $^3H/^3He$ и $(U+Th)/^4He$ датирования

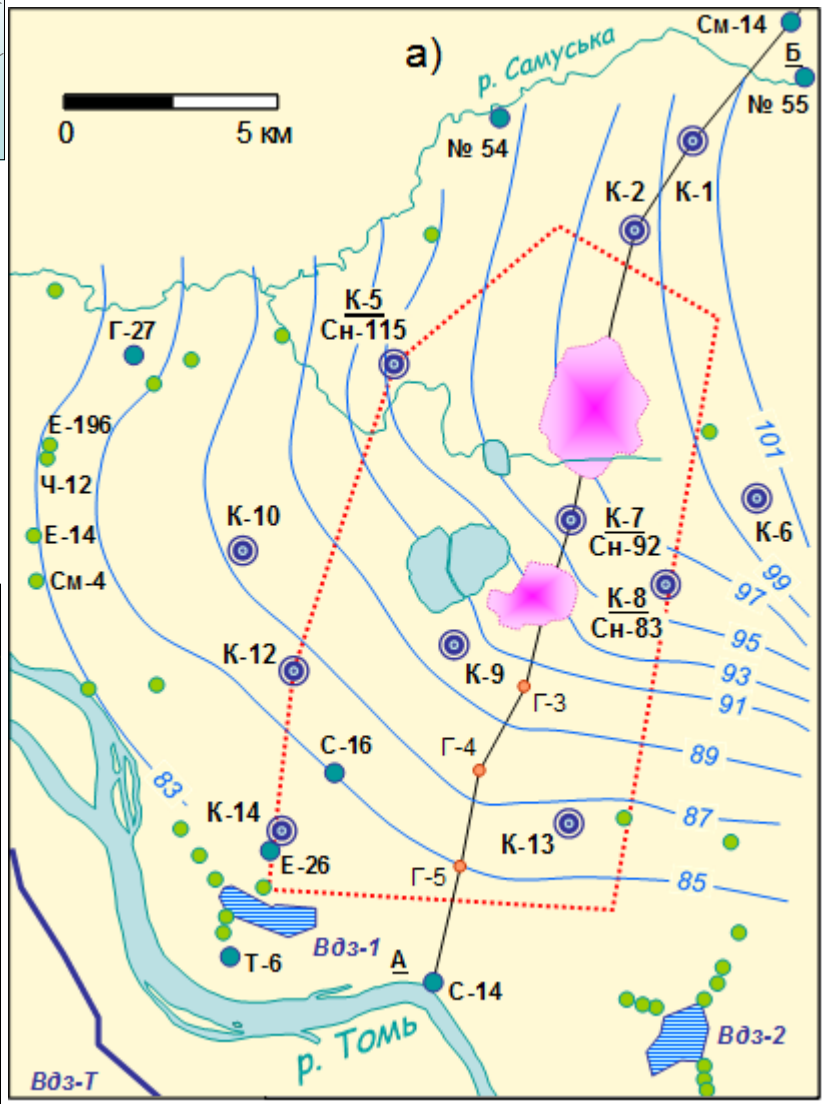


(U+Th)/^{4}He датирование

ОАО СХК

(*Зубков и др., 2007*; *Токарев и др., 2009*)



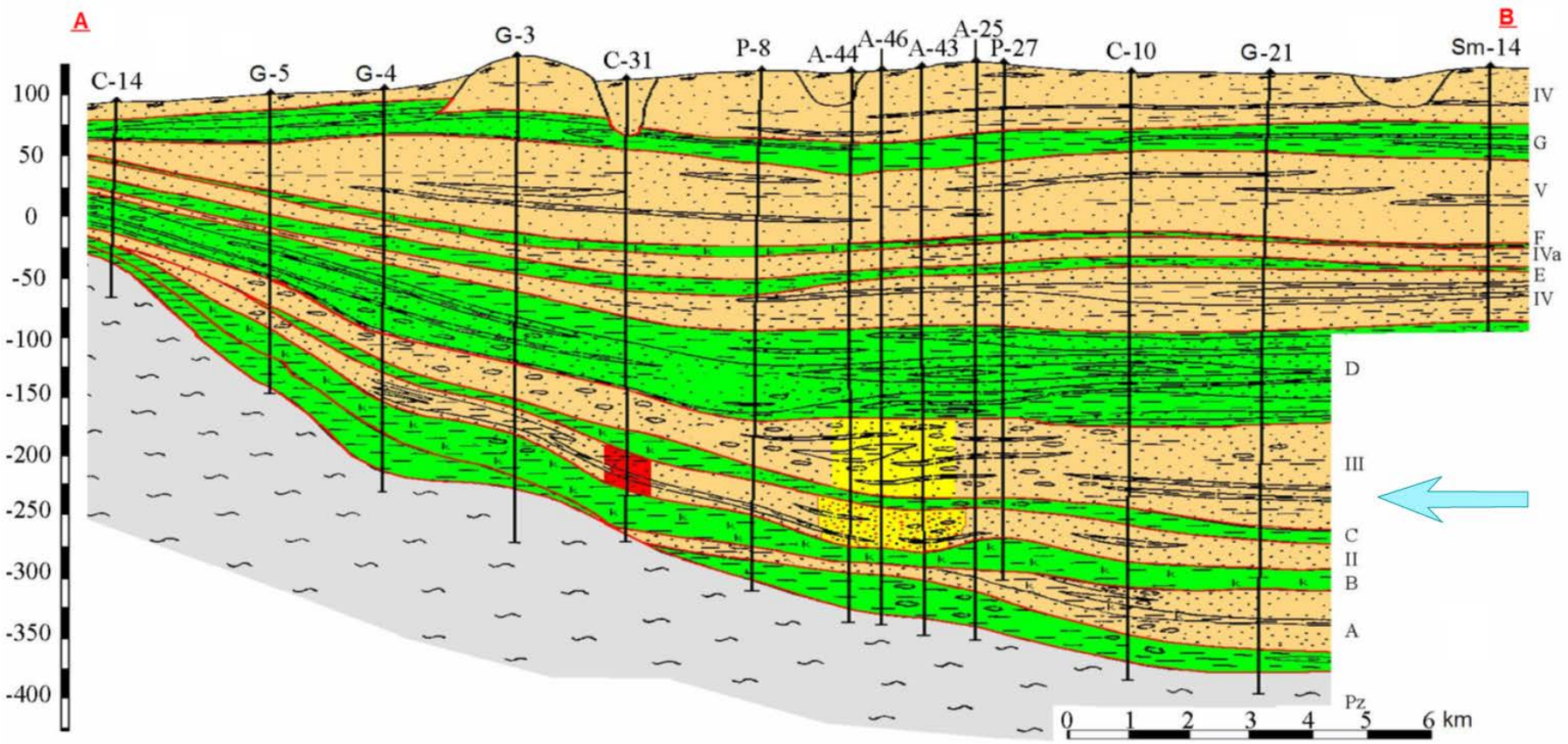


(а) схема опробования,
(б) топография региона,
(в) структурно-тектоническое положение Чулымской синеклизы и изолинии кровли фундамента по [*Ершова, 1976*]

(U+Th)/^{4}He датирование

ОАО СХК

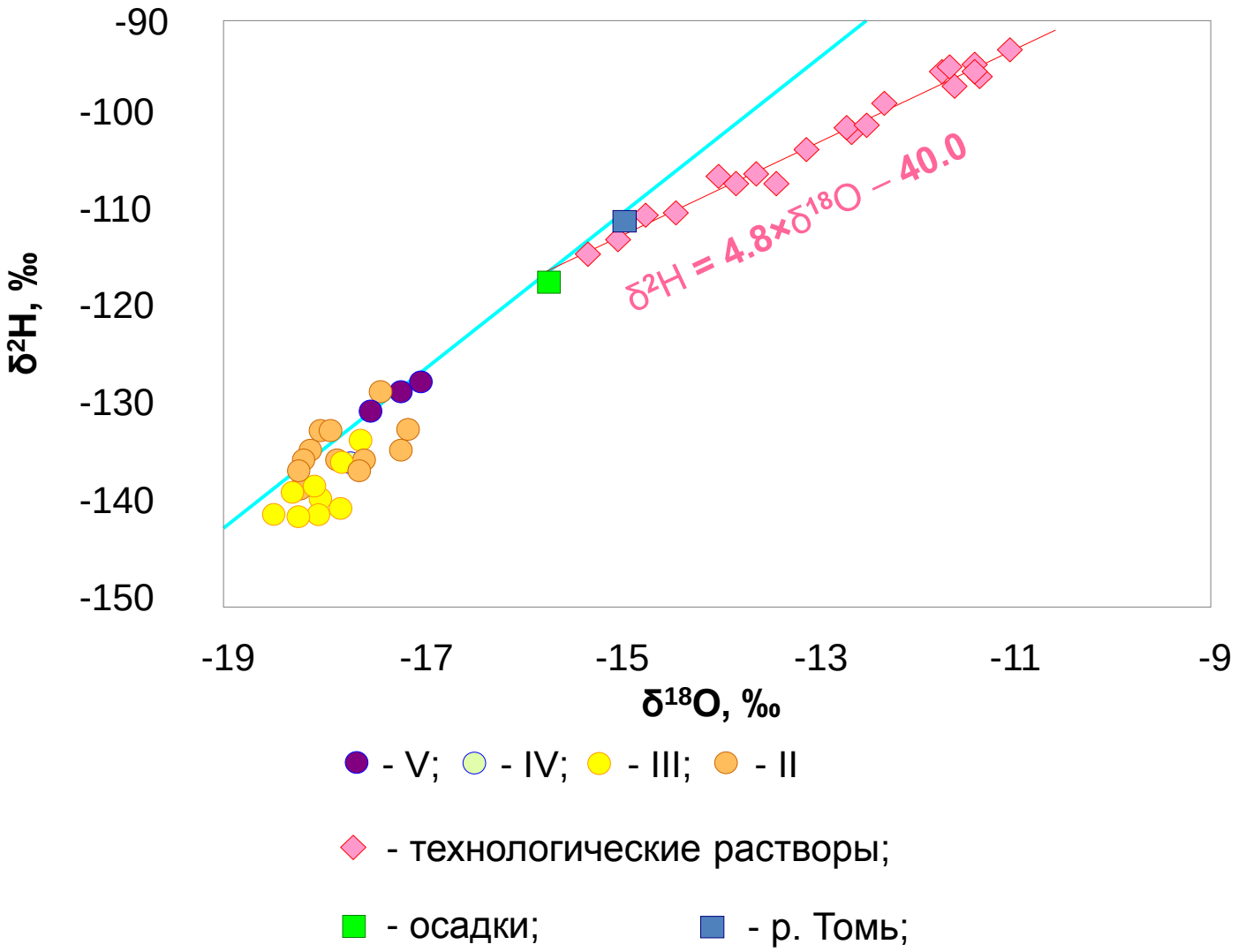
(*Зубков и др., 2007*; *Токарев и др., 2009*)



Диагностика условий питания

ОАО СХК

(*Токарев и др., 2009*)



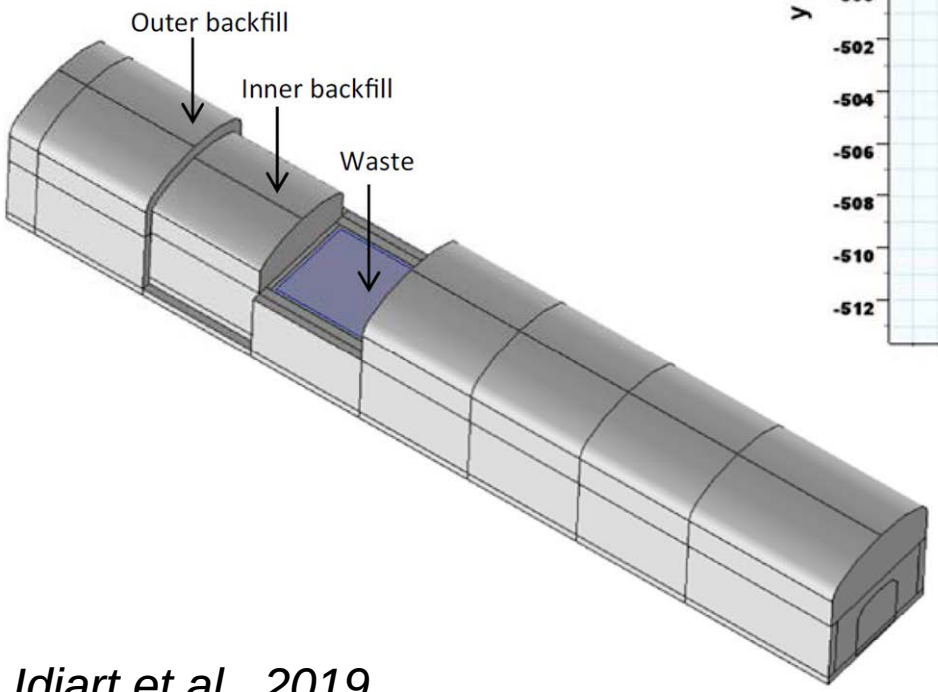
Диагностика условий питания

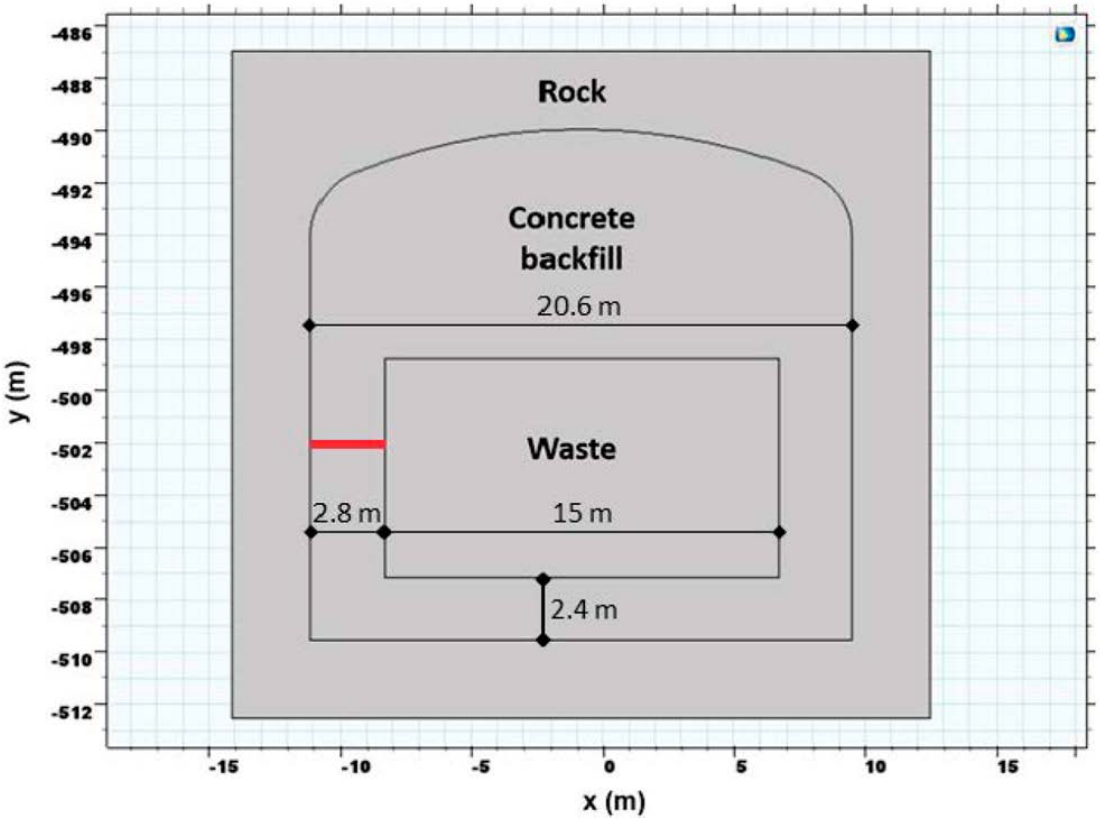
ОАО СХК

(*Токарев и др., 2009*)

Aquifer	$\delta^{18}O$ (average), ‰	$\delta^{2}H$ (average), ‰	Noble Gas Temperature, ^{o}C	$^{234}U/^{238}U$ activity
V	-17.1	-128	+4.2	1.7
IV	-17.7	-135	+2.6	6.8
III	-17.8	-137	–0.2	7.1
II	-17.7	-133	+1.4	9.3
I			+2.0	

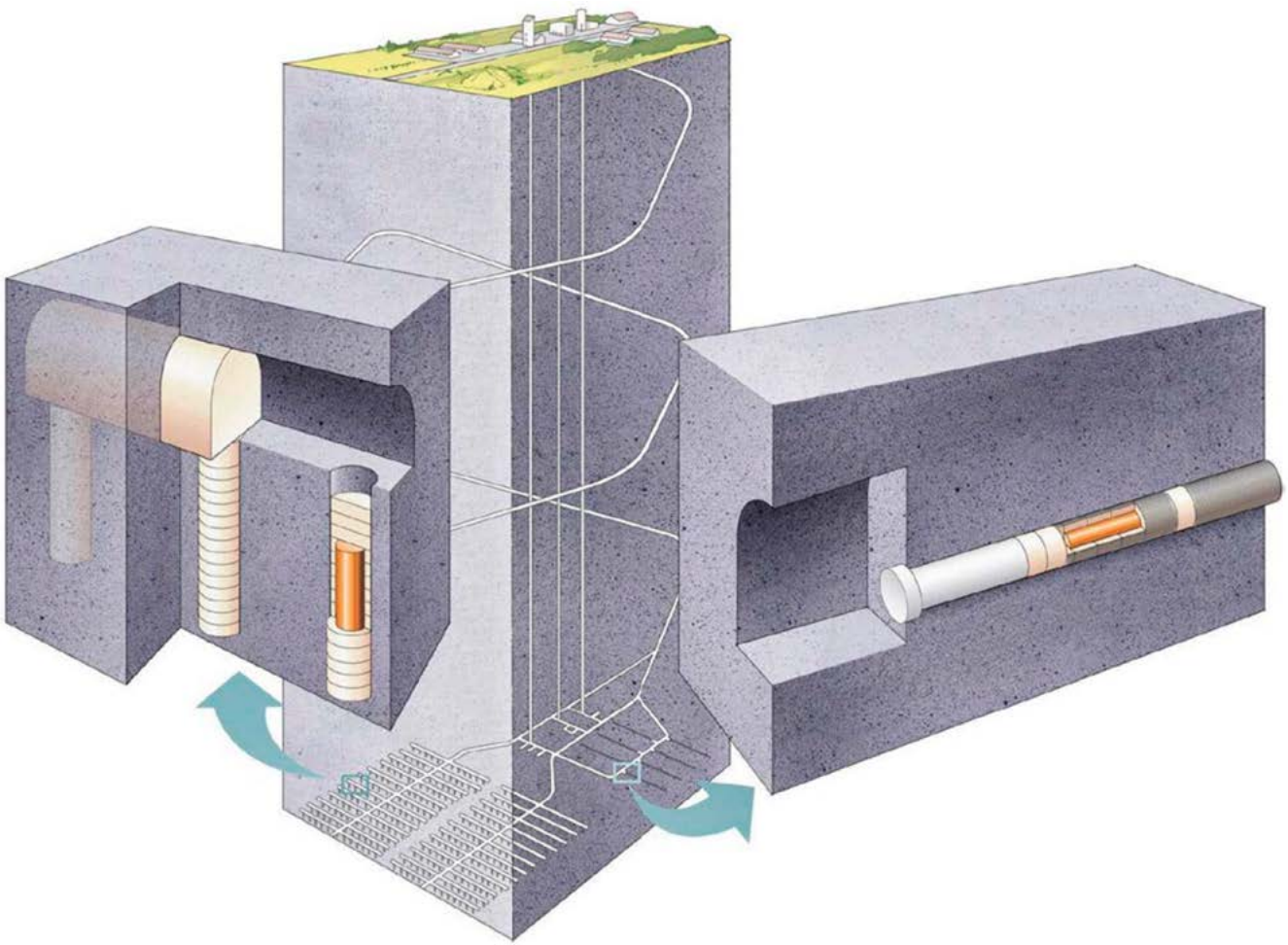
Swedish nuclear fuel and waste management Co (SKB)





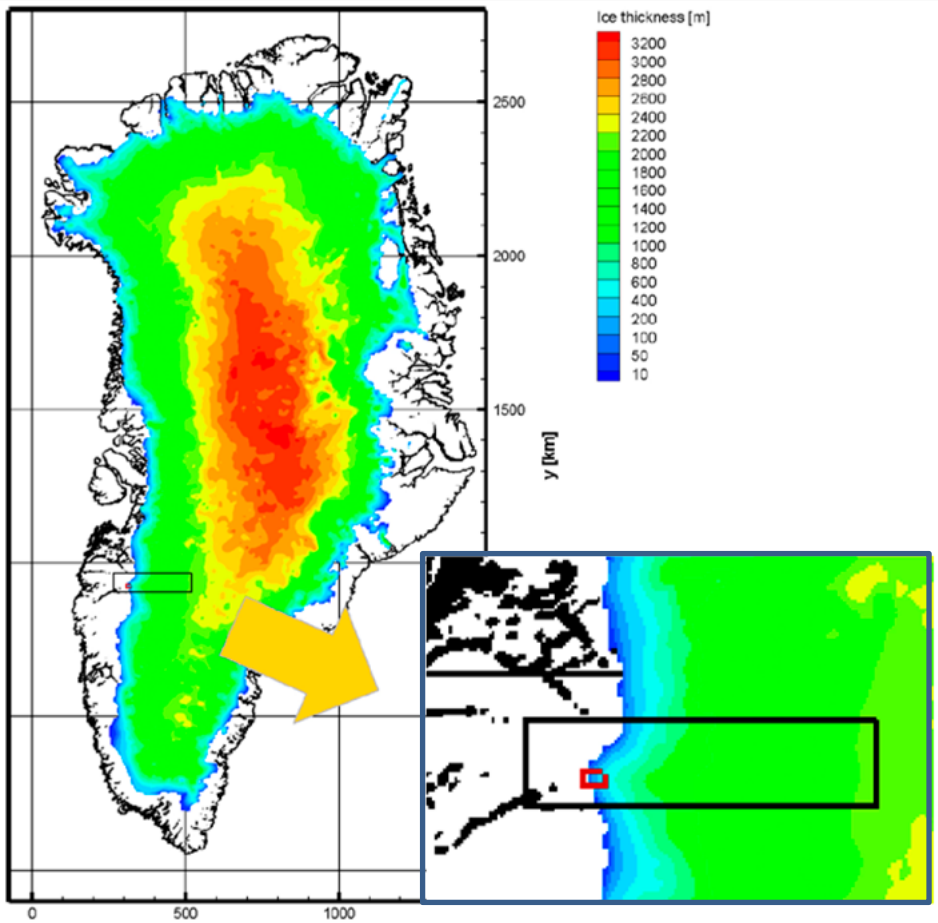
Idiart et al., 2019

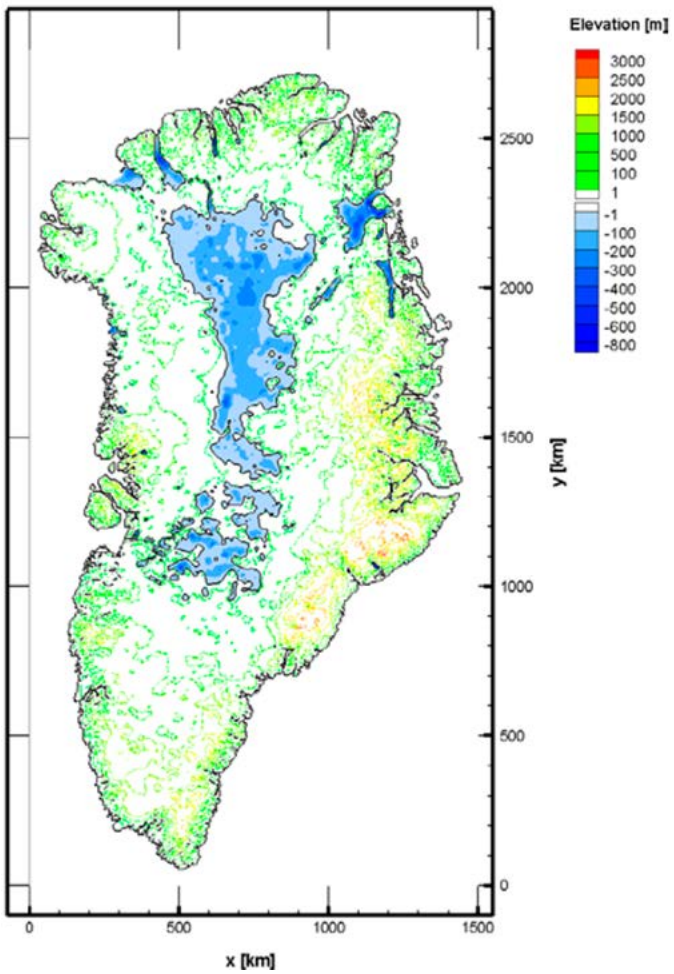
Swedish nuclear fuel and waste management Co (SKB)



Idiart et al., 2019

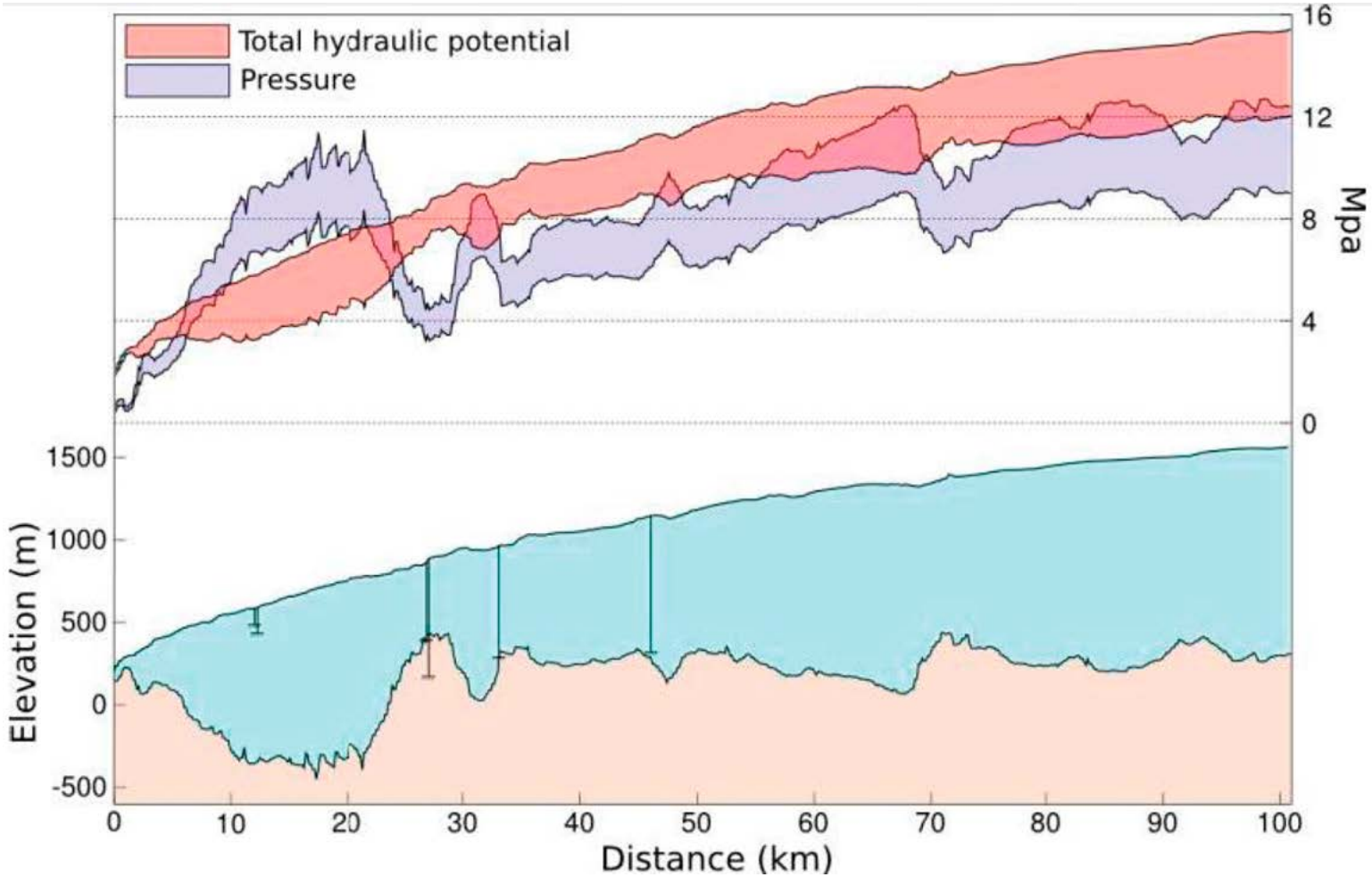
Гренландский проект SKB





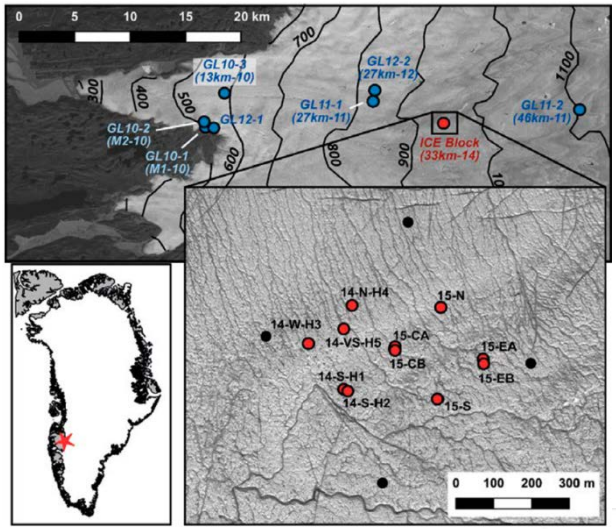
Vidstrand, 2017

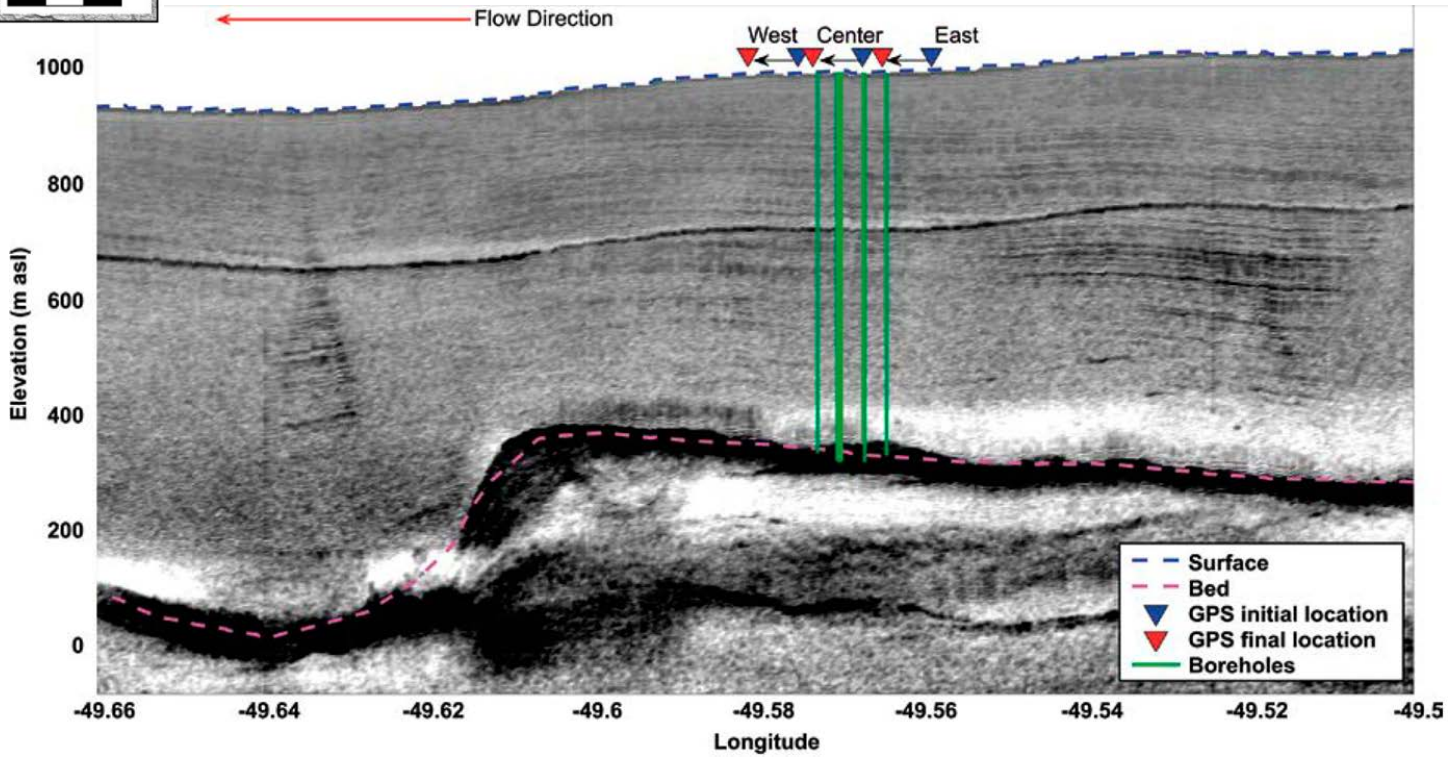
Гренландский проект SKB



Vidstrand, 2017

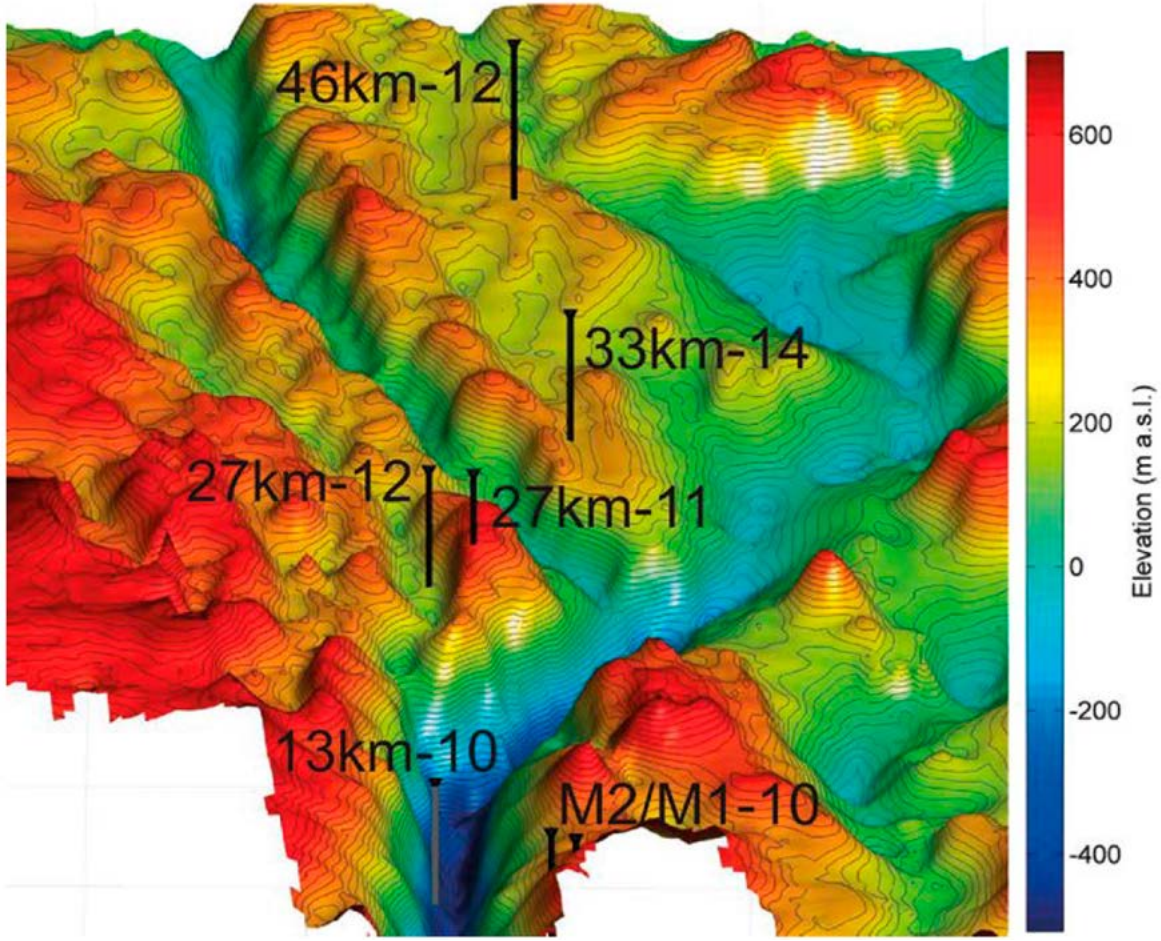
Гренландский проект SKB)





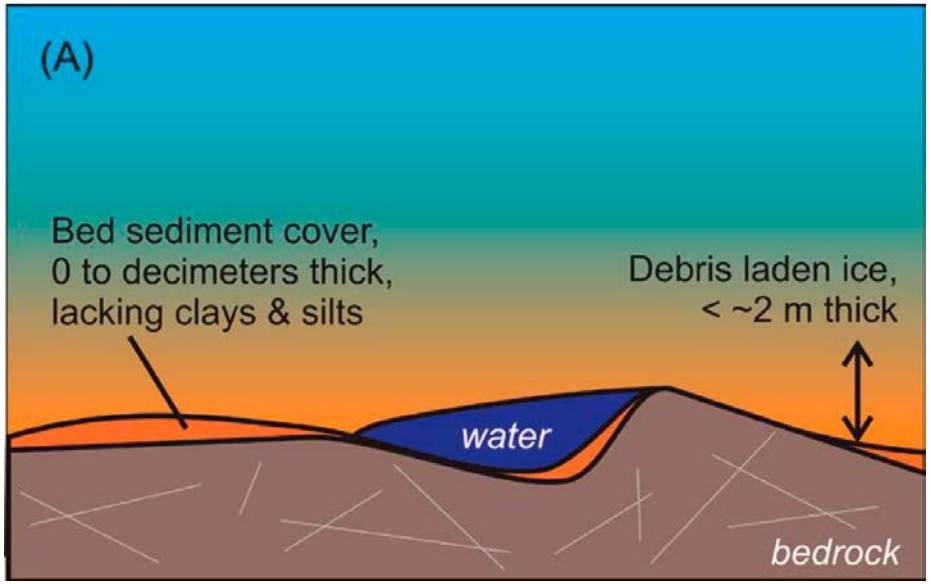
Harper et al., 2019

Гренландский проект SKB



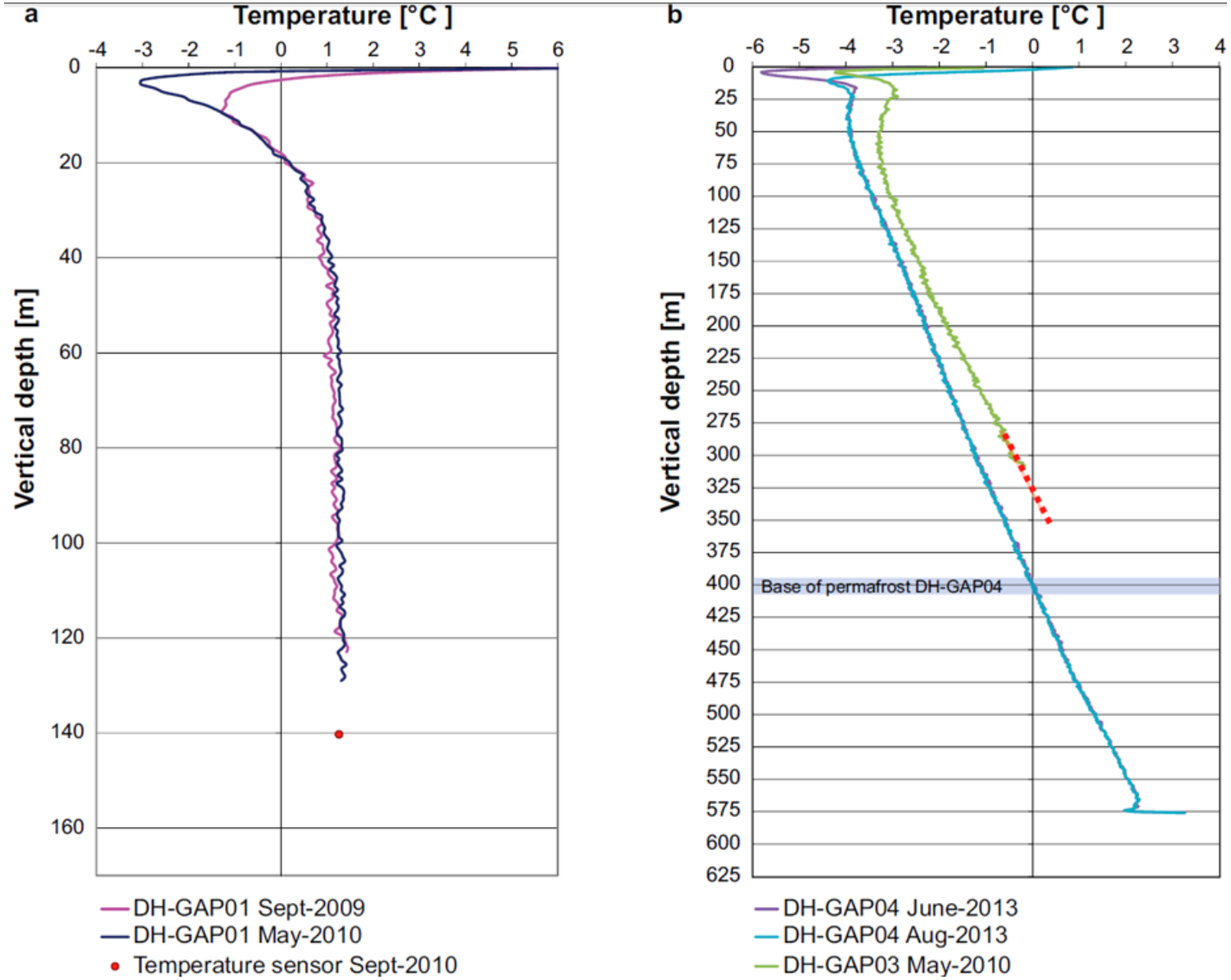
Harper et al., 2019

Гренландский проект SKB



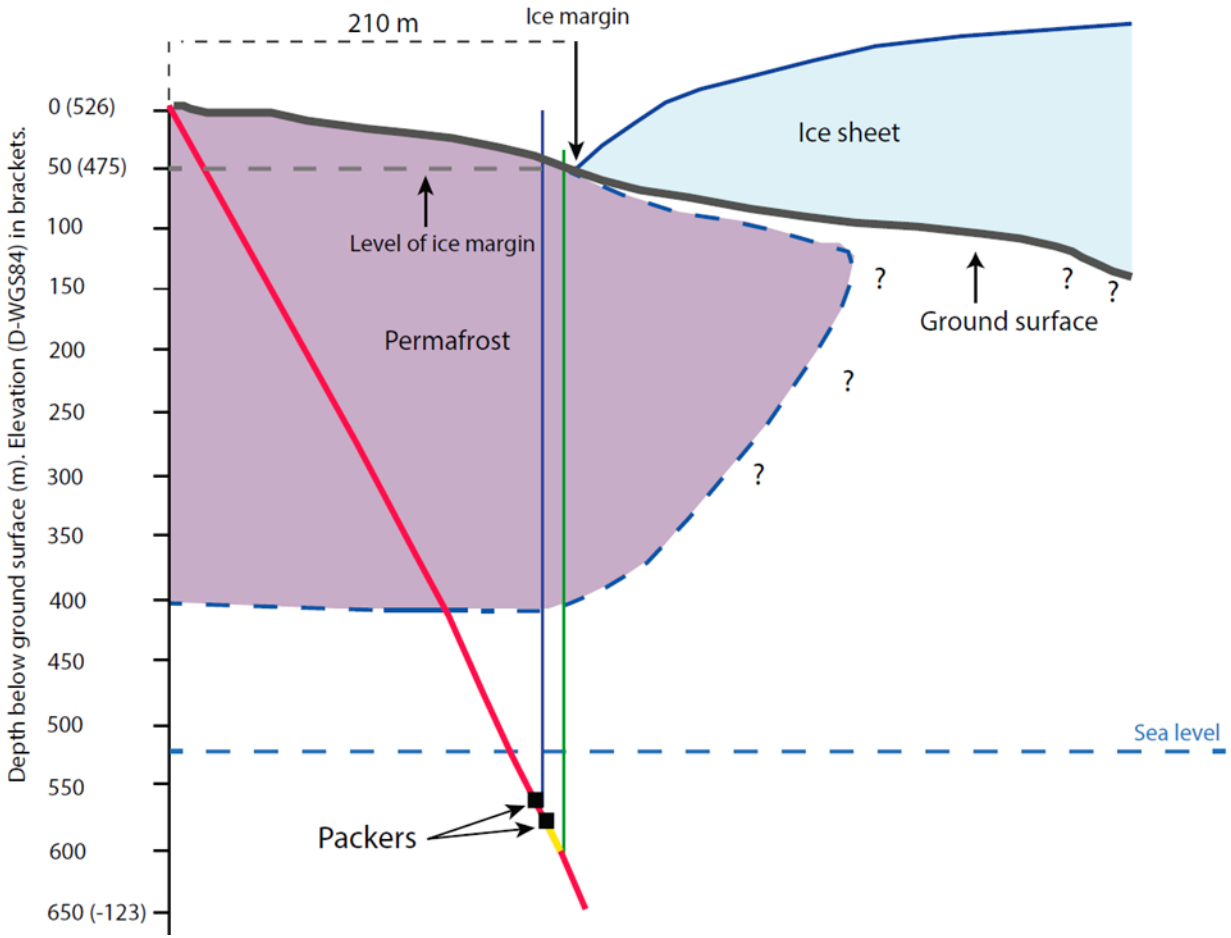
Harper et al., 2019

Гренландский проект SKB



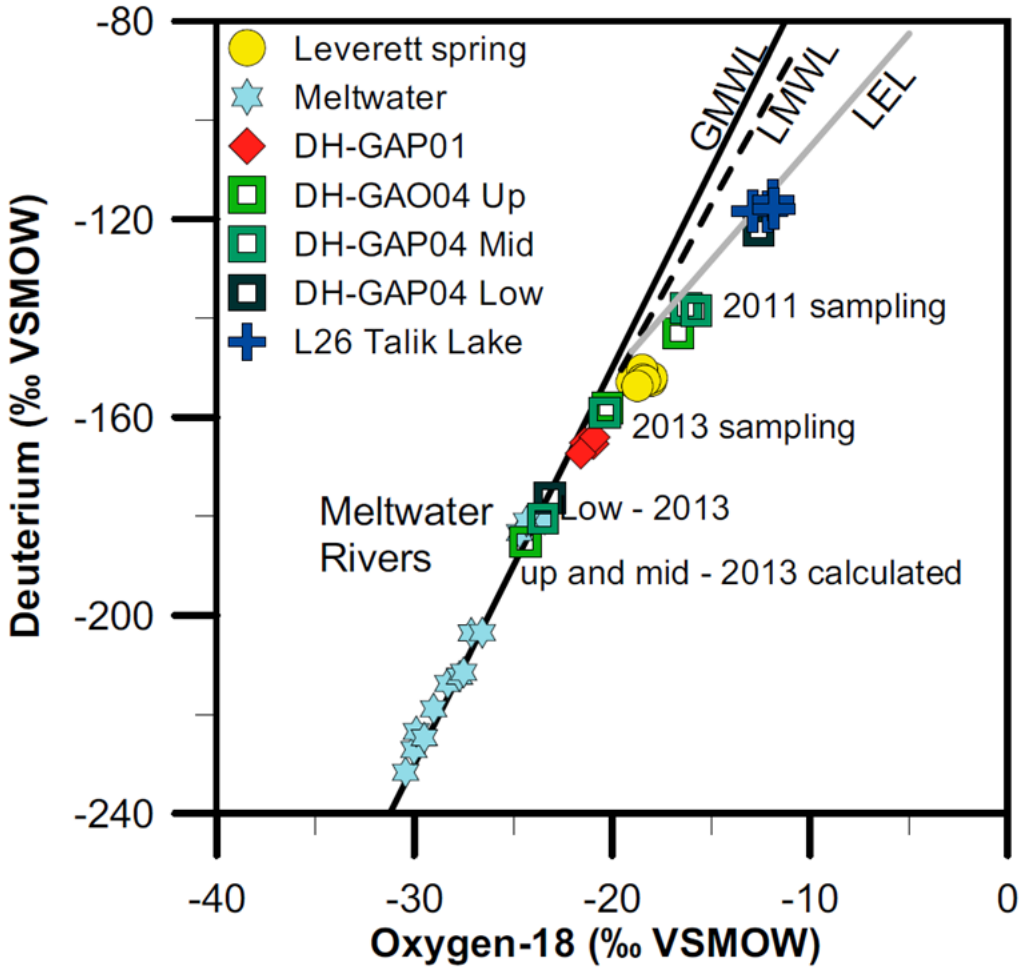
The Greenland Analogue Project: Final report. SKB, 2016

Гренландский проект SKB



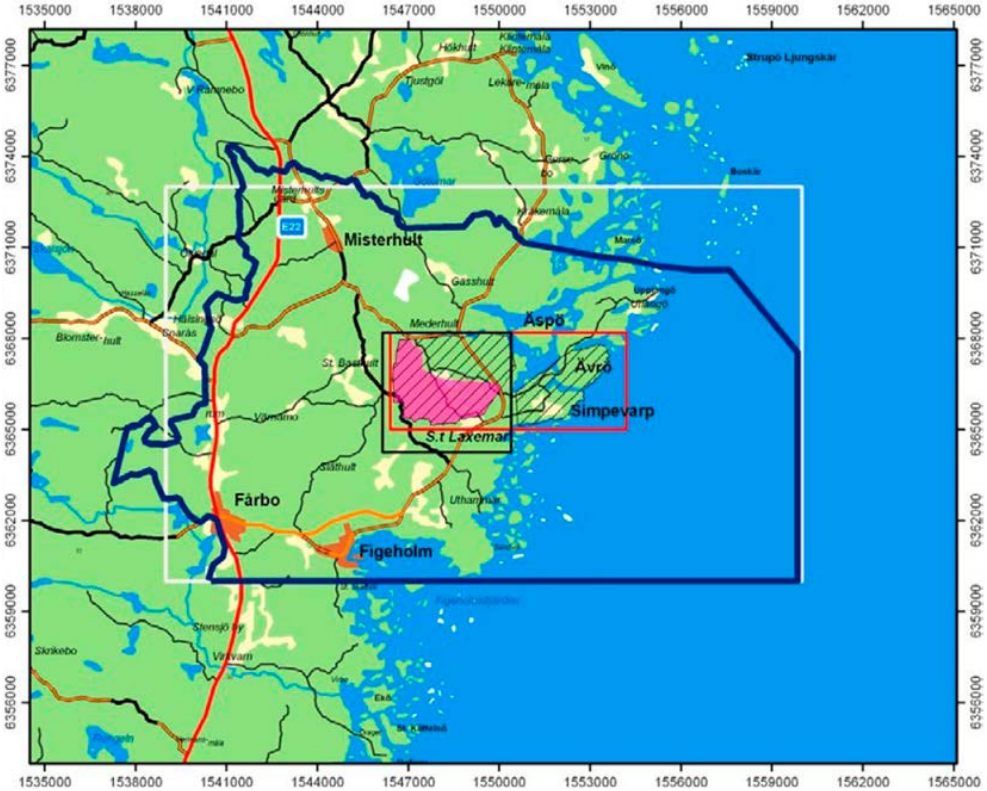
The Greenland Analogue Project: Final report. SKB, 2016

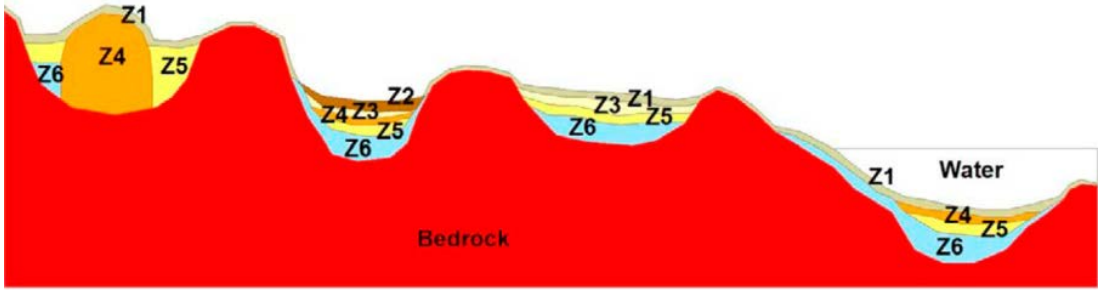
Гренландский проект SKB



The Greenland Analogue Project: Final report. SKB, 2016

Фенноскандия (SKB)

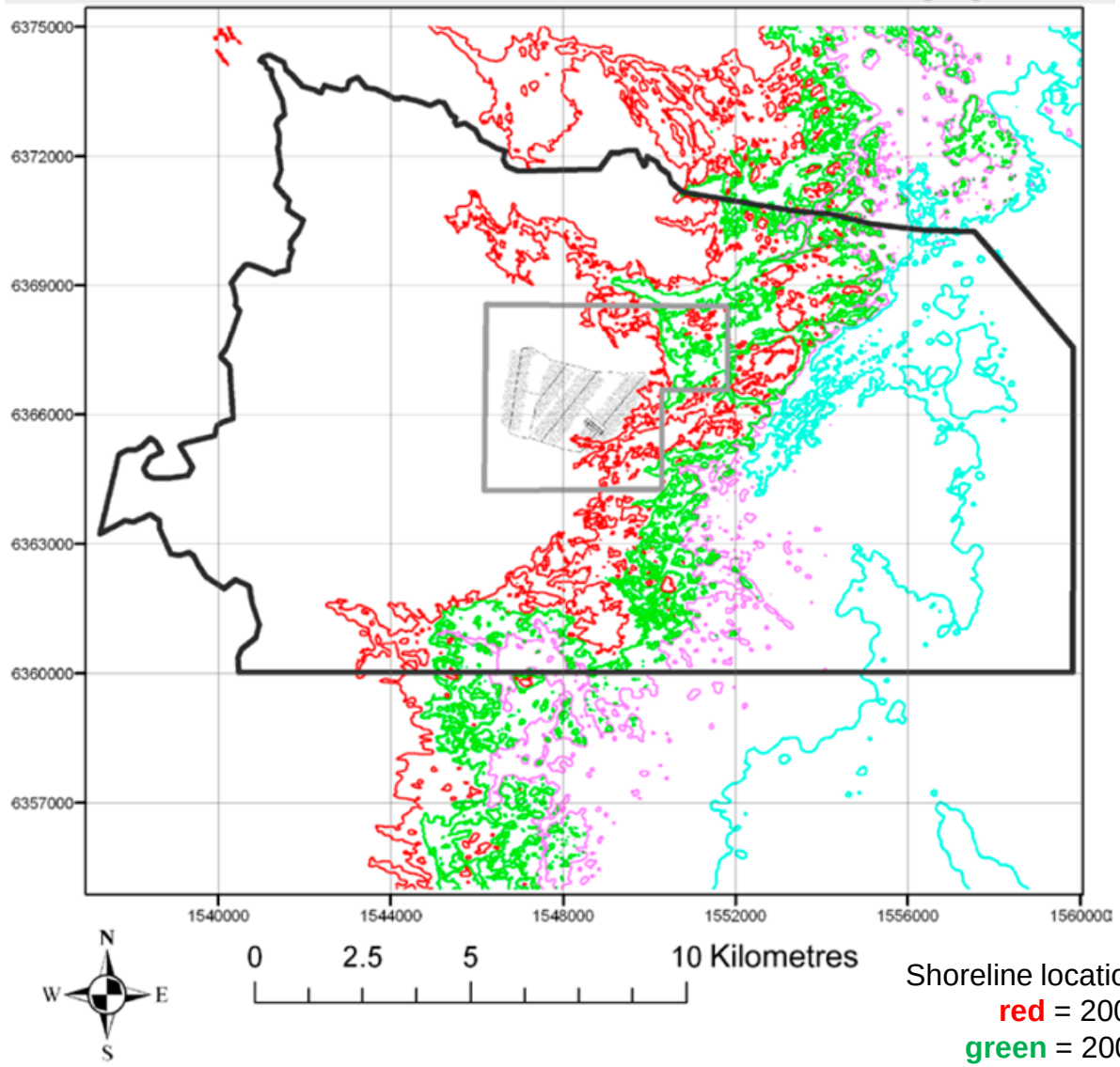




- Z1: a thin surface(-affected) layer,
- Z2: (fen or bog) peat,
- Z3: postglacial clay, clay gyttja/gyttja clay, gyttja or recent fluvial sediments,
- Z4: postglacial sand/gravel, glaciofluvial sediments or artificial fill,
- Z5: glacial clay,
- Z6: (glacial) till.

Joyce et al., 2019

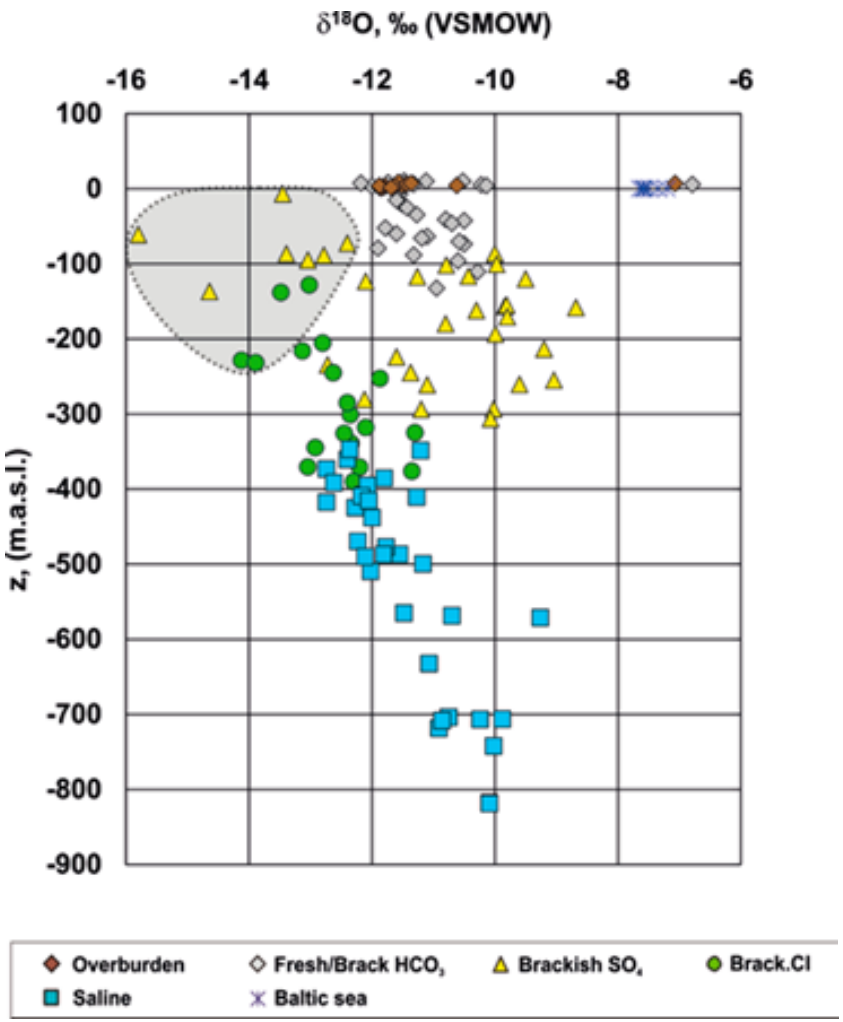
Фенноскандия (SKB)

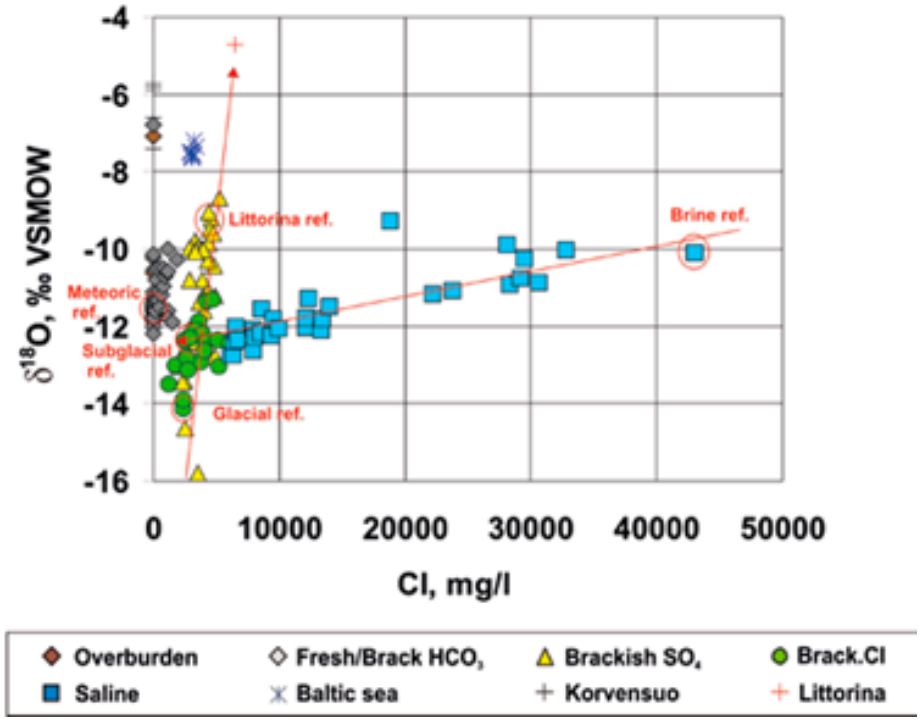


Shoreline location at different times (Joyce et al., 2010):
red = 2000 BC,
green = 2000 AD,
purple = 5000 AD,
blue = 15 000 AD.
The Laxemar repository are shown in **grey**.

Joyce et al., 2019

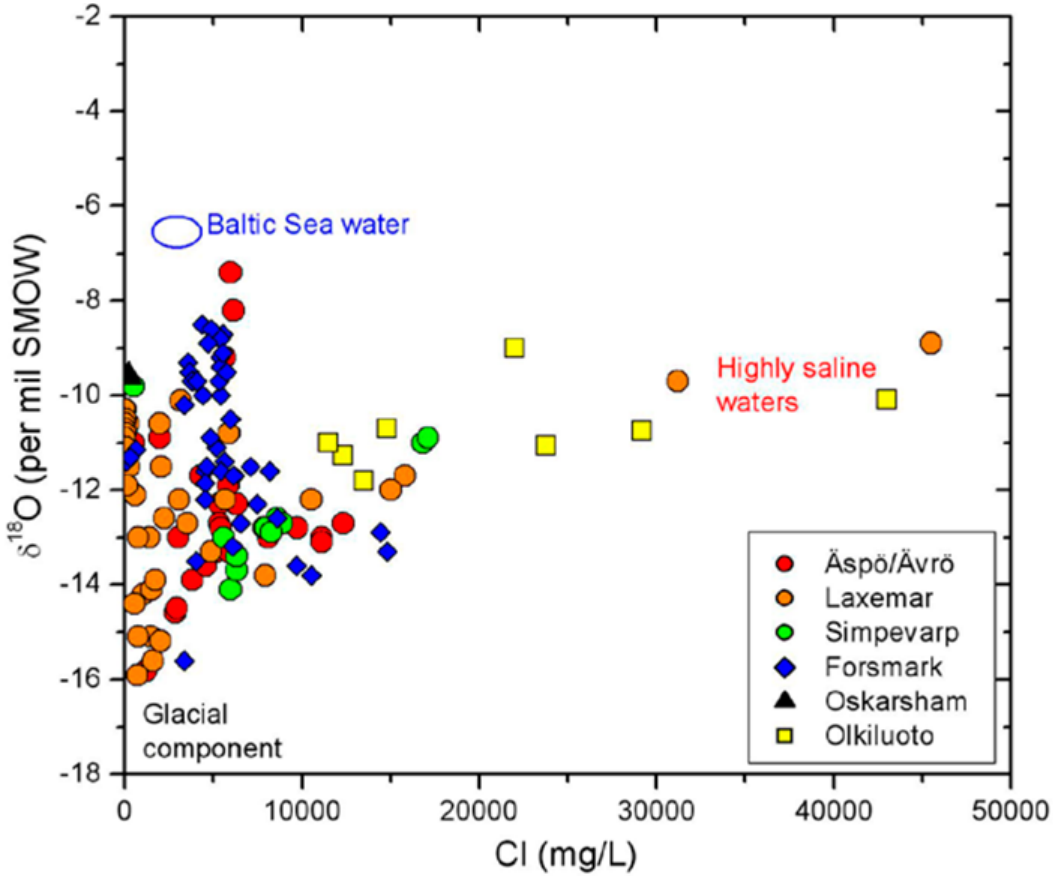
Фенноскандия (SKB)

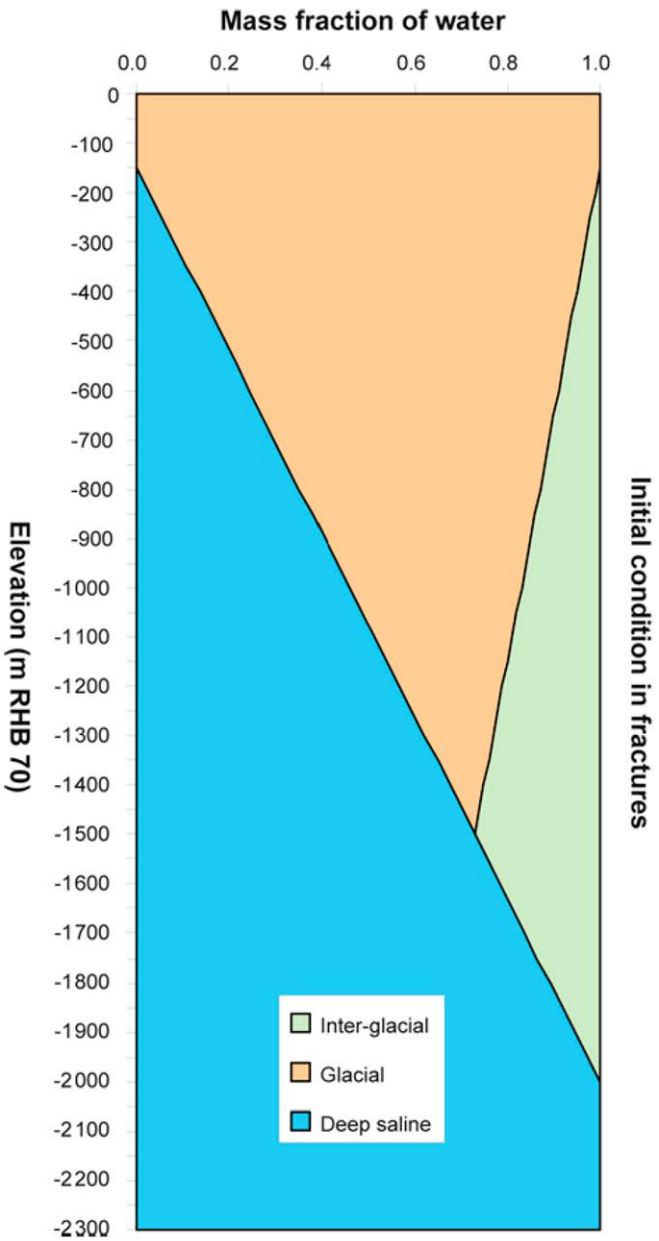




The Greenland Analogue Project: Final report. SKB, 2016

Фенноскандия (SKB)





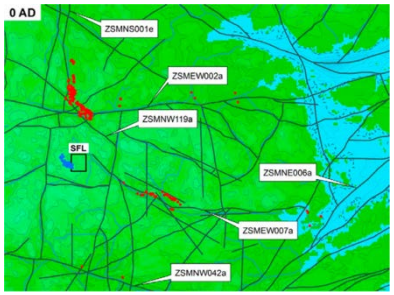
Initial conditions for the fracture water at 8000 BC (*Rhén et al., 2009*)

Joyce et al., 2019

Фенноскандия (SKB)

Палеореконструкция

Современное состояние



Прогноз

Joyce et al., 2019

Фенноскандия (SKB)

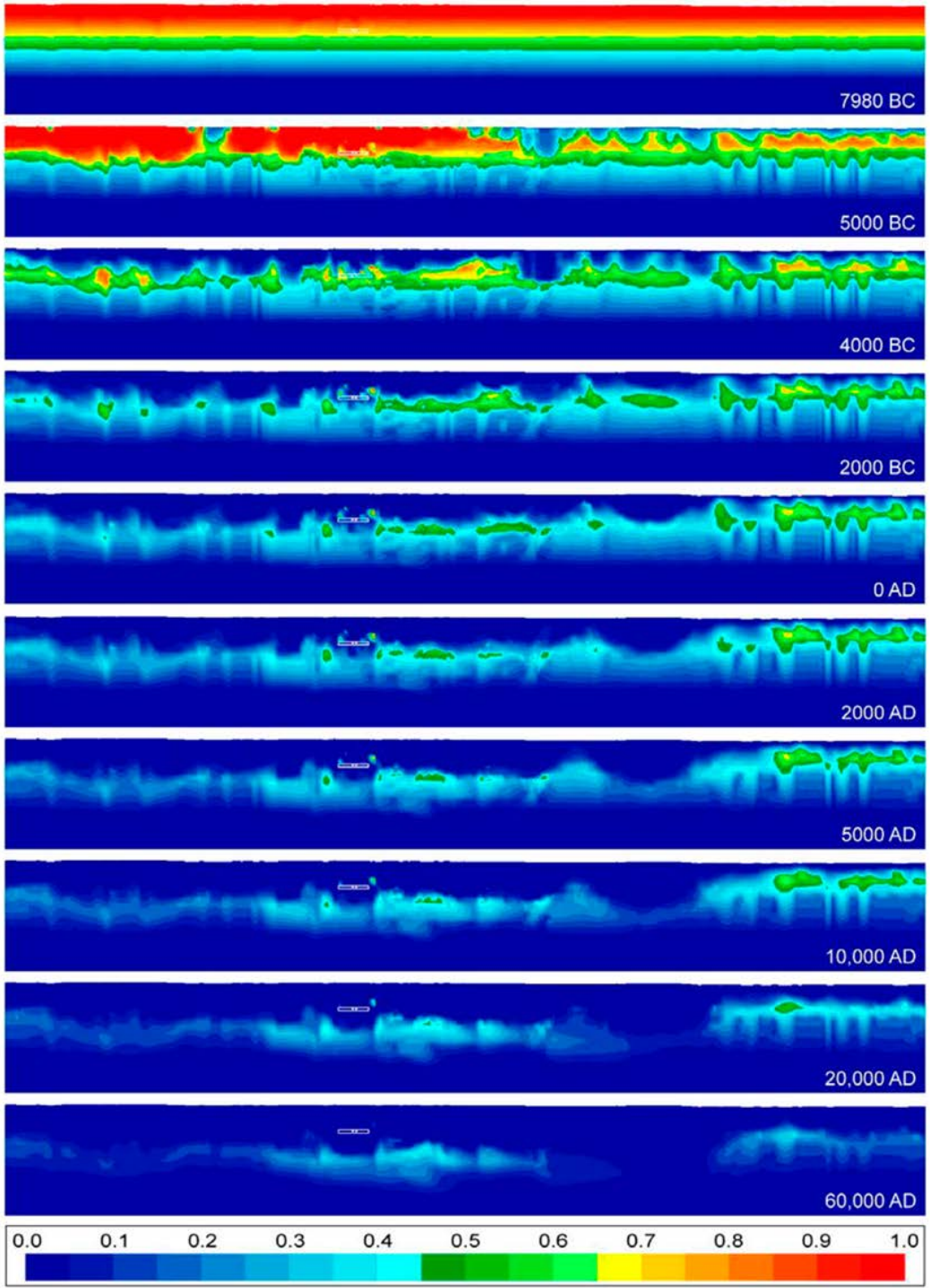
Модельная палеореконструкция и прогноз изменения соотношения между тремя генетическими компонентами подземных вод

Начальное распределение на 7980 лет BC:

Верхний слой - талая ледниковая вода;

Средний слой - палеоводы Eemian Sea;

Нижний слой - глубинные рассолы



Joyce et al., 2019

Спасибо за внимание!