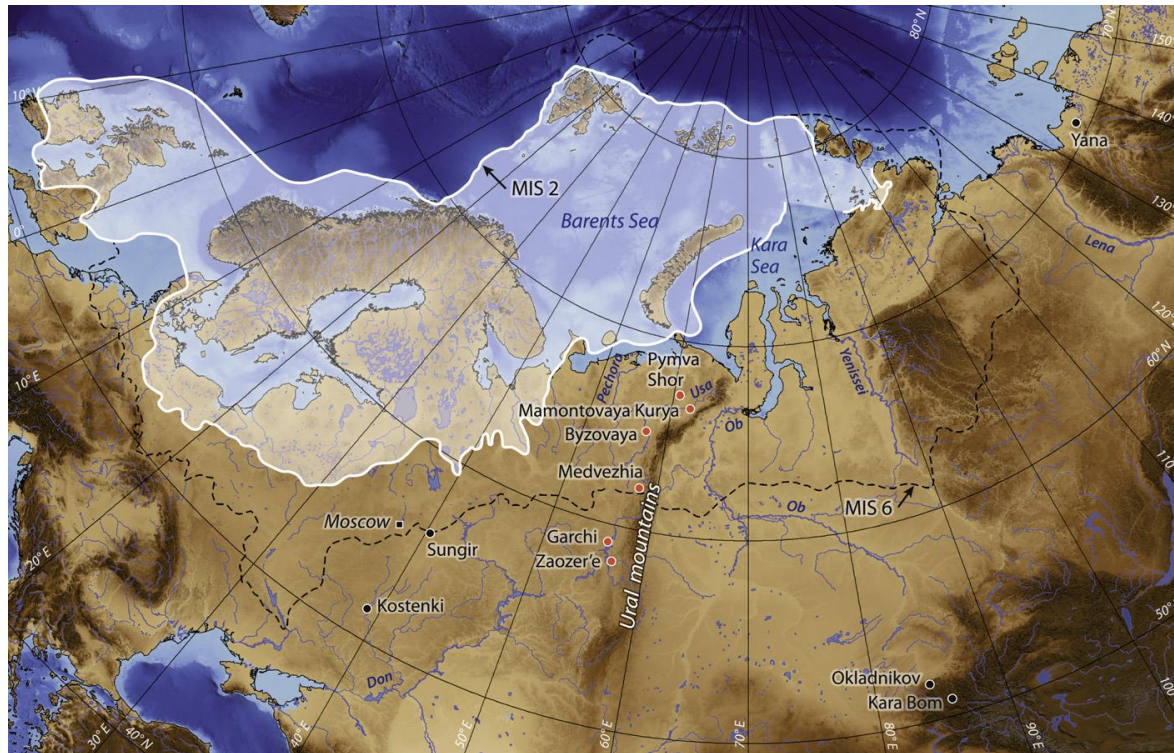


Берингийская Атлантида

– ретроспективный и перспективный анализ климатических изменений
на основе ледово-лессово-почвенного комплекса

А.О. Макеев



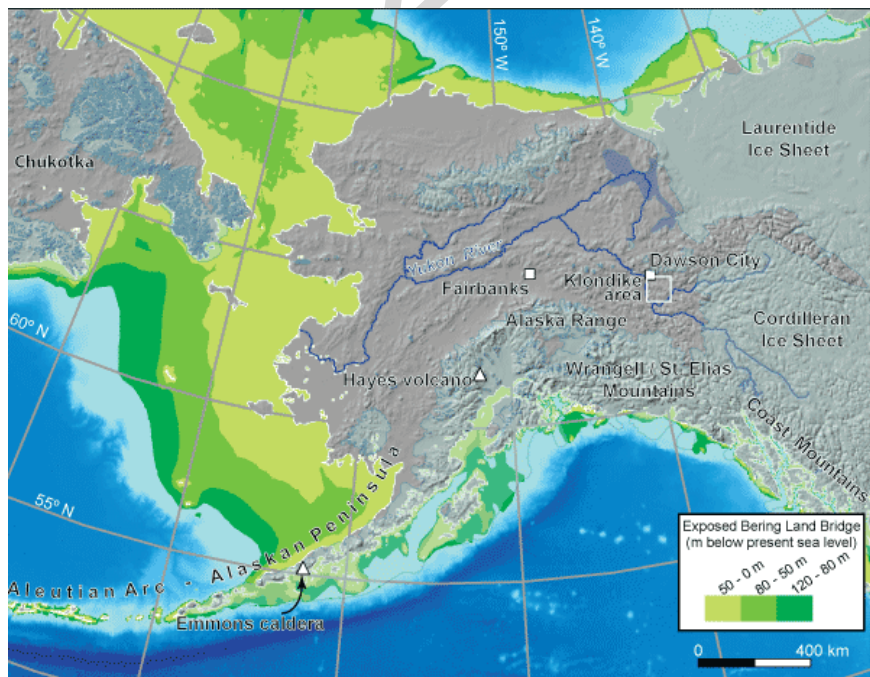
Ледниковый покров Евразии в последний ледниковый максимум (20 ka)

по Svendsen et al., 2004

Вечная мерзлота в северном полушарии

Берингия - 34 млн км кв

Уровень океана на 120 м ниже современного
Обширные перигляциальные зоны
При погребении лёсса и почвы выходят из деятельного
слоя и консервируются в мерзлоте

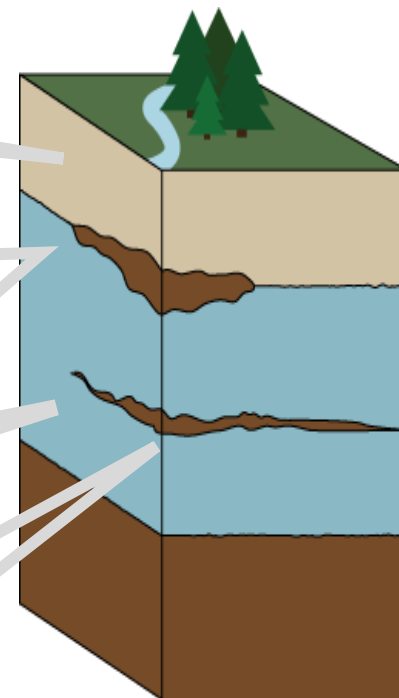


Деятельный слой
0 – 5 Ка

Переходный слой –
бывший деятельный
голоценового оптимума
5-10 Ка

Вечная мерзлота
>10Ка

Талик



Ледово-лессовый комплекс – едома (Yedoma)

Плейстоцен на блендере



Мощность – до 100 м

До 90% объема - ледяные жилы и сегрегационный лёд

Основная проблематика:

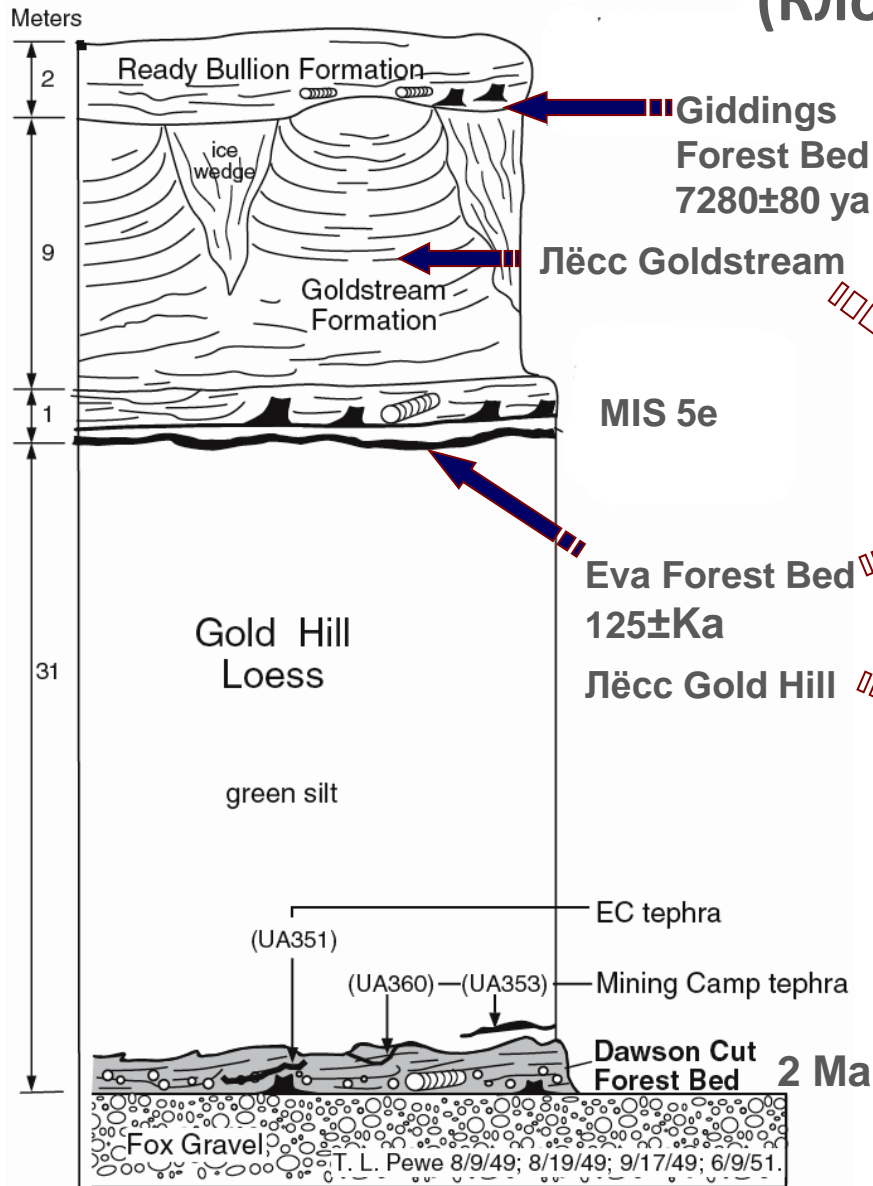
Детальная запись эволюции природной среды за последние 2Ma

Загадка продуктивности ландшафтов Берингии

Криобиосфера - музей замороженной жизни и палеопочв

Climate change

Стратиграфия лёссовых отложений Восточной Берингии (Клондайк)



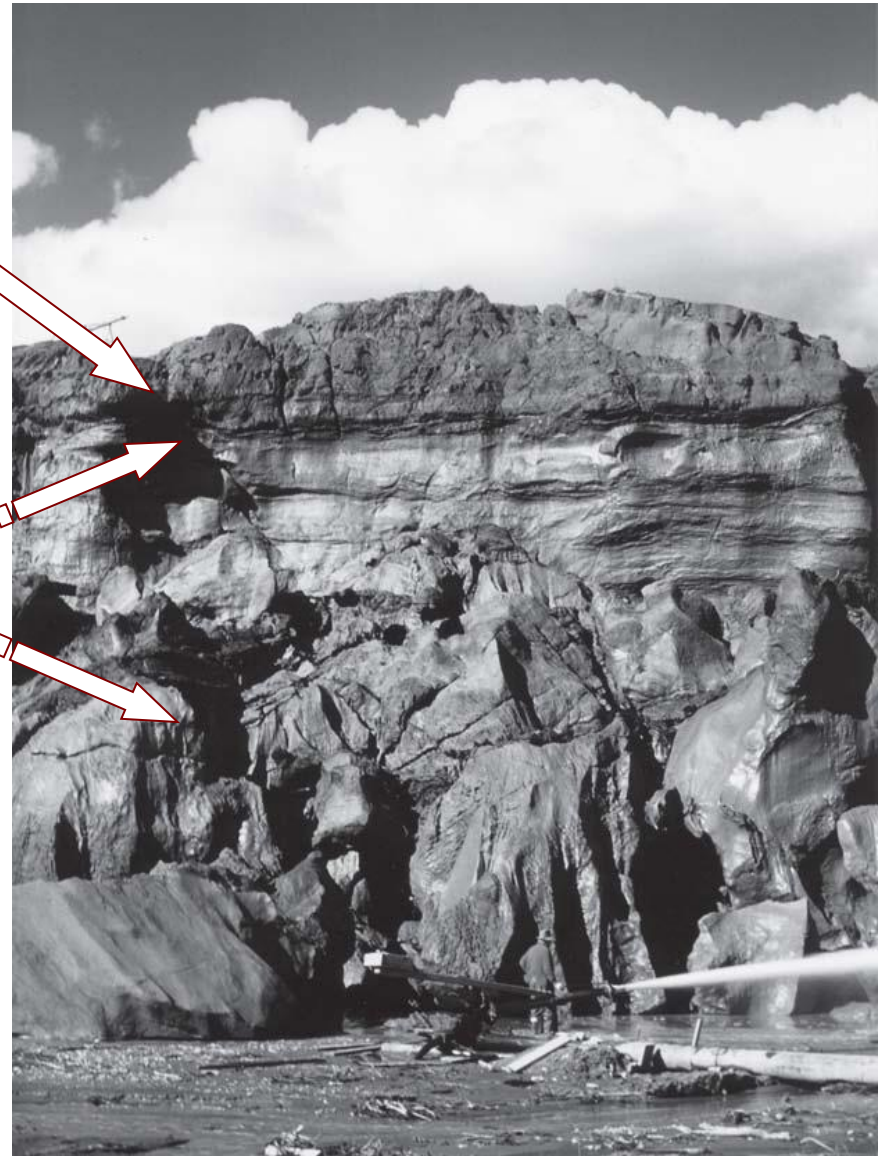
Giddings Forest Bed
7280±80 ya

Лёсс Goldstream

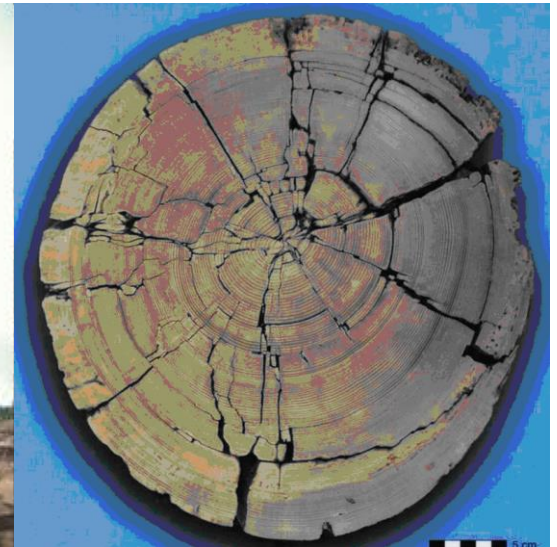
MIS 5e

Eva Forest Bed
125±Ka

Лёсс Gold Hill



Верхнеплейстоценовая лессово-ледовая толща Восточной Берингии, *центральный Юкон, Канада*



MIS 5 – (Eva forest bed) -
остатки лесной
растительности

Прослой тephры Sheep Creek
(ca. 80 ka) маркирует
переход MIS 5-4

Палеопочва MIS 4 (*Early Wisconsin, Зырянское*)

Ледяной клин



Прослой тефры Dominion
Creek (82 \pm 9 ka)

- Обильные корни злаков на всю мощность бывшего деятельного слоя (более 1 м)
- Современная растительность – моховой покров
- Глубина протаивания современных почв – 50-70 см

Раннекаргинская почва – MIS3



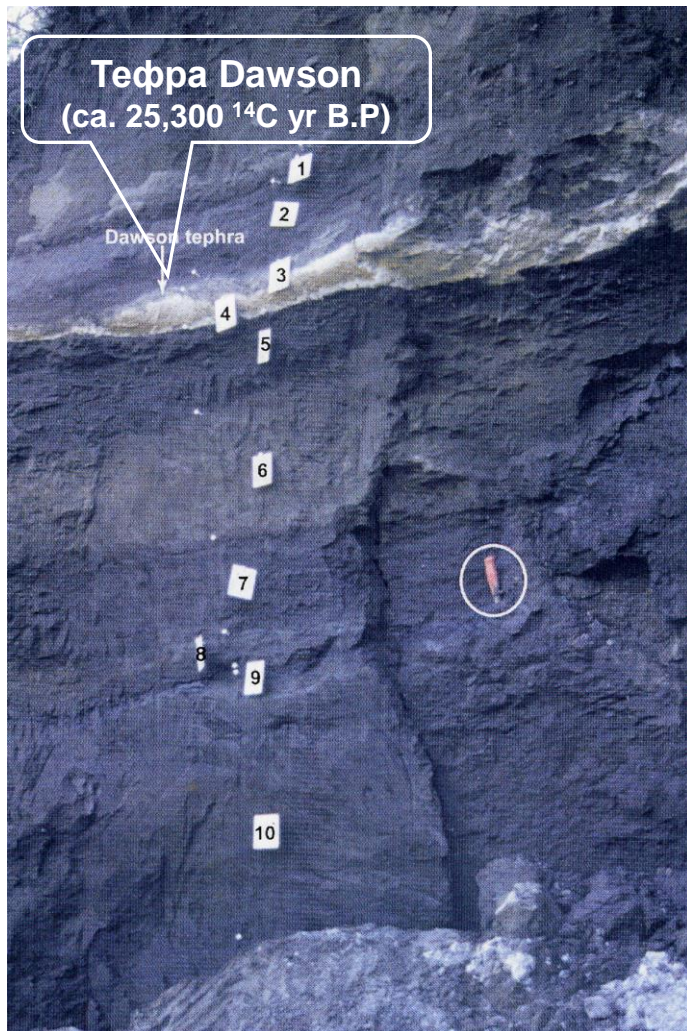
Аналог
Брянской



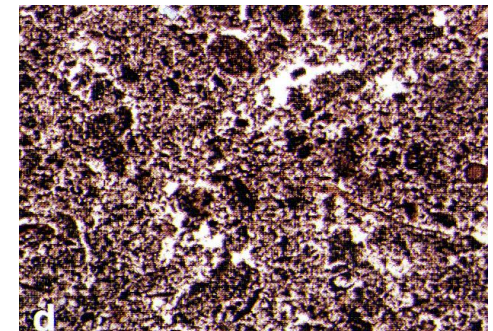
В мерзлоте прекрасно сохраняются
остатки фауны
Череп бизона (*Bison priscus*)
Froese et al., 2009

Строение верхнеплейстоценовой толщи восточной Берингии, Юкон, Аляска (*Sanborn et al., 2006*)

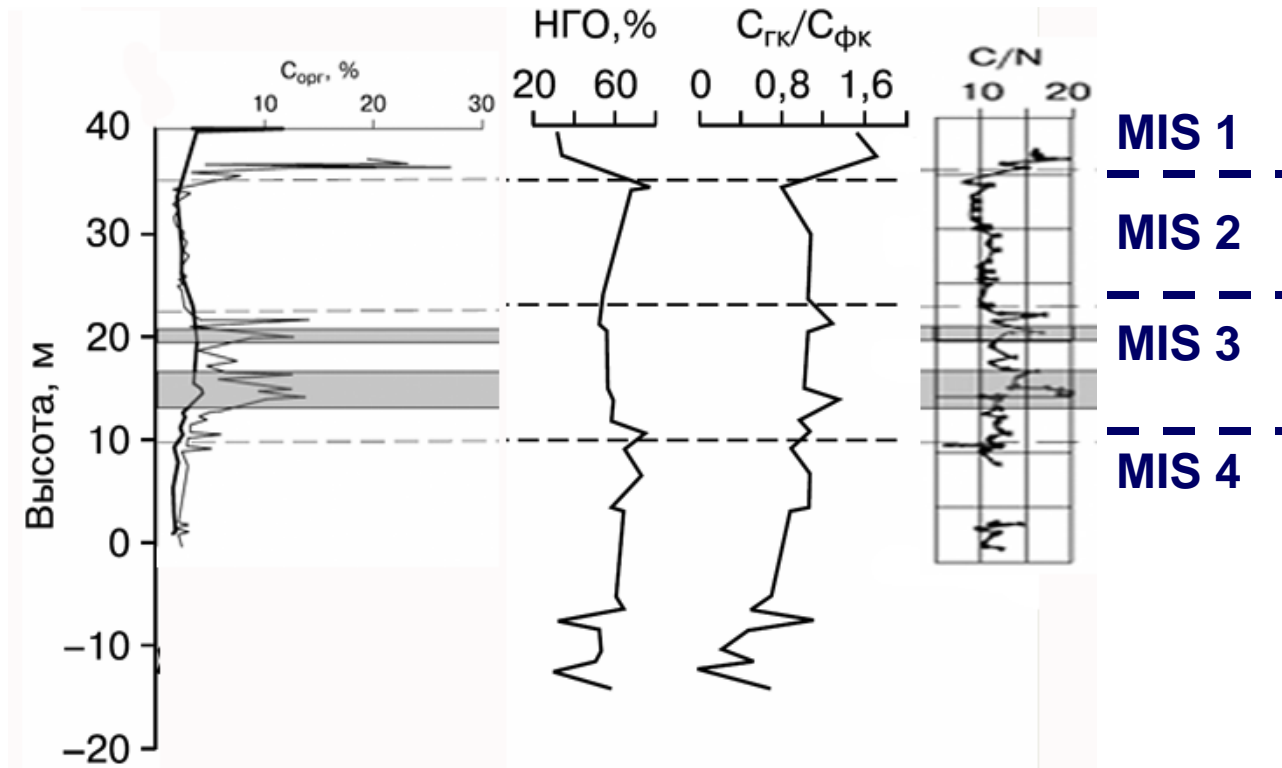
Криосинлитогенные почвенные горизонты - часто менее 1 см мощностью



Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, %		
		песок	пыль	ил
Ahkb1	0-7	19.6	66.1	14.3
Ck1	7-33	8.5	80.7	10.8
Ck2	33-41	18.2	74.9	6.9
Dawson tephra	41-50	24.0	73.4	2.6
Ahkb2	50-65	15.4	72.4	12.2
Ck3	65-107	15.0	74.7	10.3
Ahkb3	107-135	13.6	76.5	9.9
Ck4	135-147	16.4	73.4	10.2
Ahkb4	147-149	12.5	78.8	8.7



Содержание и свойства органического вещества в верхнеплейстоценовой толще, Быковский полуостров (Западная Берингия)



- Вся толща обогащена органикой
- Высокое содержание негидролизуемого остатка 60 - 70%
- Замедление темпов лёссонакопления сопровождается накоплением органики
 - При этом повышается доля гуматного гумуса и отношение C/N

Толща MIS-2 (Сартанское время)



Стрелками показаны норы наземных белок

Максимально холодная фаза
поздневисконсинского
(Сартанского) времени
Формирование гигантской
перигляциальной гиперзоны
Сезонные миграции
палеолитического человека за
стадами мамонтовой фауны
Сезонные миграции мамонтов
оцениваются в 650–2500 км.

African lion, African elephant, Cape buffalo, African leopard, Rhinoceros.

Production paradox

Берингия – Северная Атлантида, Земля Санникова

34 МЛН КВ.КМ



Production paradox

Феномен процветания мамонтового комплекса в самые холодные фазы позднего плейстоцена (MIS 2 - MIS 4)

Ледово-лессовые толщи на 80-90% объема являются ледяными.

Лессово-ледовая суша занимала весь восточно-арктический шельф, а также обширные площади на ледяном панцире глубоко промерзавшего тогда невоскрывавшегося Арктического океана.

Уровень моря на 120 м ниже.

Господствовали ландшафты высокотравных злаковых мамонтовых степей

Останки фауны изобилуют ныне на самых арктических землях и островах Якутии.

Ответ

- Более аридный климат
- Решающее значение – лёссонакопление и обильное поступление элементов питания из свежих лёссовых осадков.
 - Почвы менее кислые
- Злаковый напочвенный покров (Берингийские тундростепи)
 - их очаги до сих пор по южным склонам (криоаридные почвы)
 - не было изолирующего действия мохового покрова
- **В итоге:** почвы были лучше дренированы, лучше прогревались, глубже протаивали, не турбиривались

Участки реликтовых тундростепей (мамонтовая флора)



Степи с *Agropyron jascitorum* в бассейне р.
Колыма

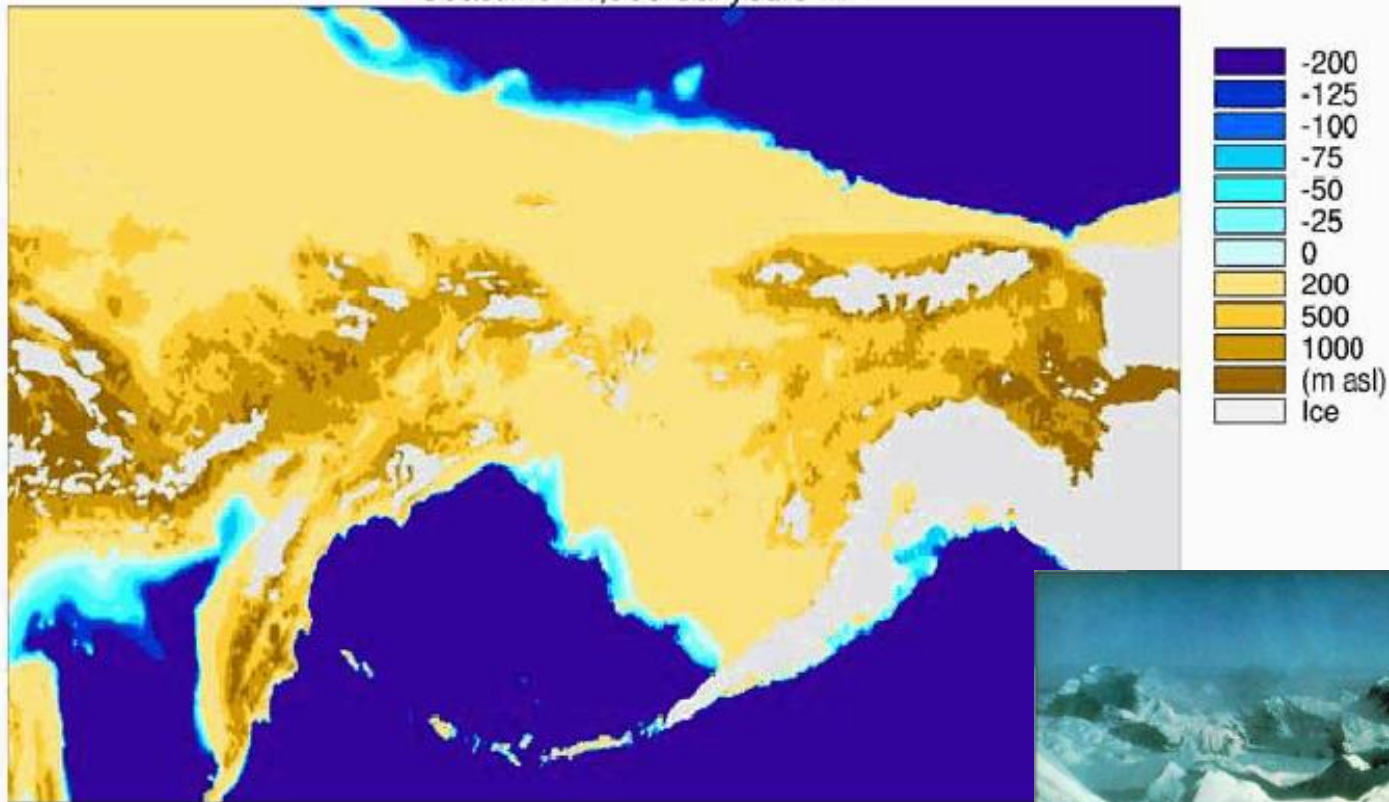


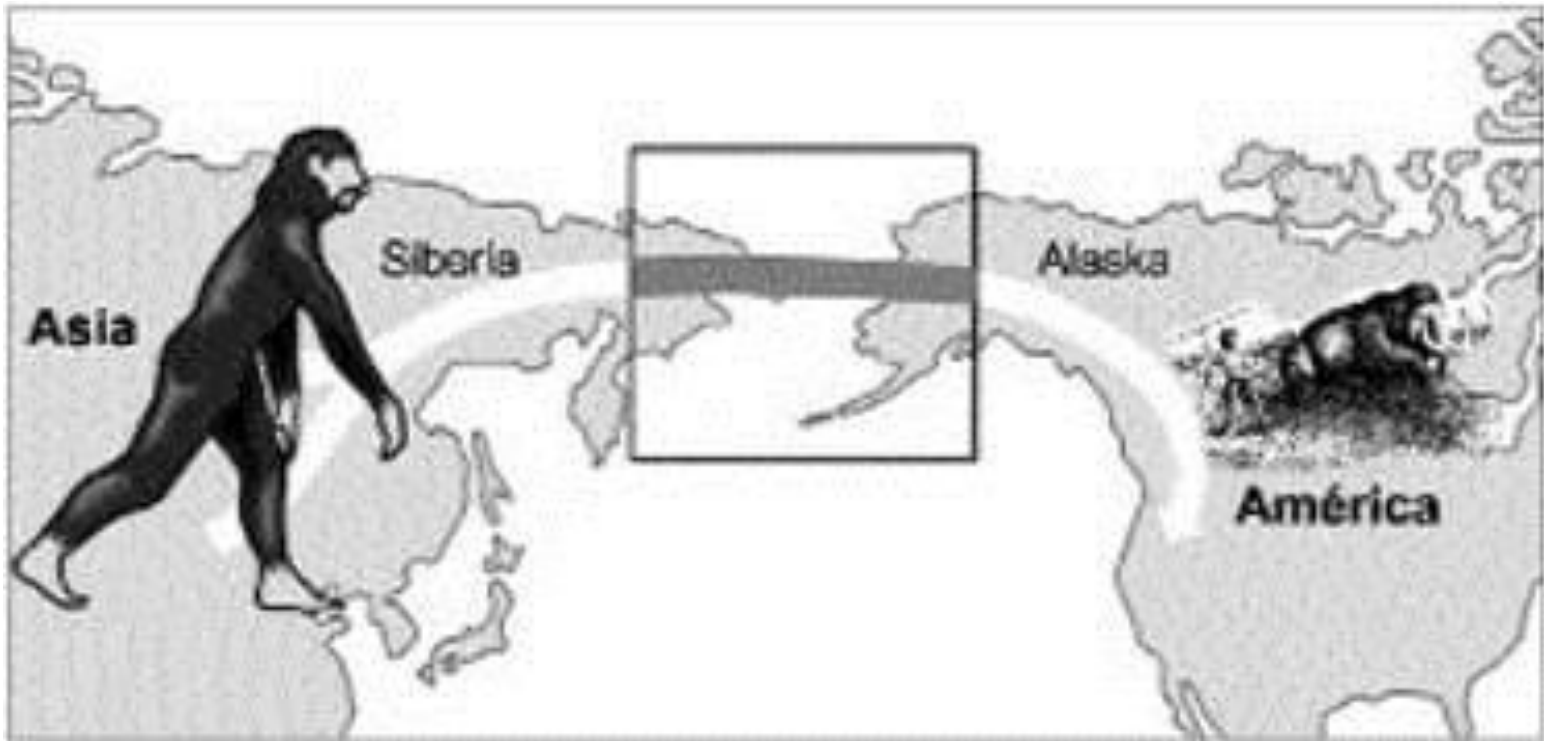
Bay, Kudane Lake, Yukon, Канада

Берингийский мост в позднеледниковье

PALE *Paleoenvironmental Atlas of Beringia*

Coastline 21,000 Cal years BP





Америку открыл не Колумб, а охотники каменного века - они пришли туда вслед за мамонтами по Берингийскому мосту



Криобиосфера

По материалам лаборатории криологии почв ИФПБ, Пущино

Несмотря на понижение летних температур почвы лучше прогревались и глубже протаивали благодаря злаковому наземному покрову



Белки живут на хорошо дренированных почвах с деятельным слоем более 1 м
Сейчас белок в этих районах нет



Погребенные беличьи гнёзда

Листья,
перья,
скорлупа,
шерсть,
иголки



Арктическая
наземная
белка -
Spermophilus
parryi
(Richardson, 1825)



Семена



Astragalus alpinus L.



Rumex arcticus Trautv.

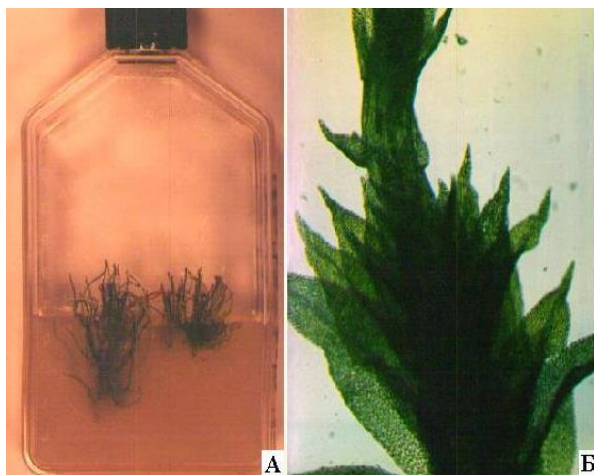


Poa attenuata Trin.

Высшие растения (*Silene stenophylla*)



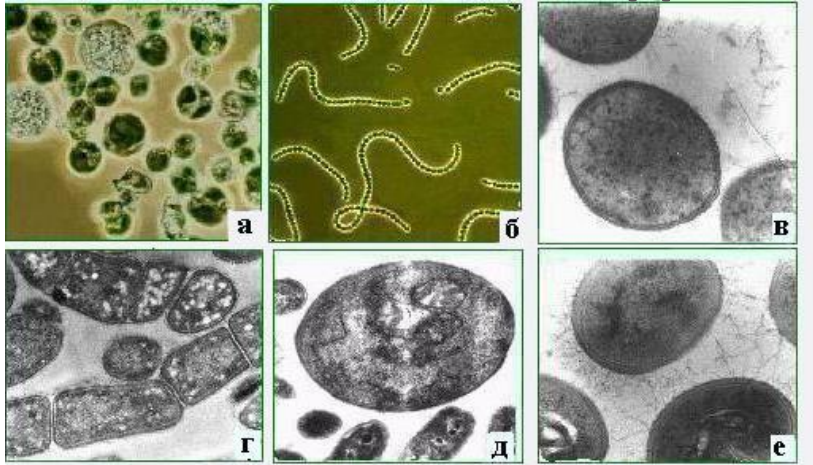
Мхи



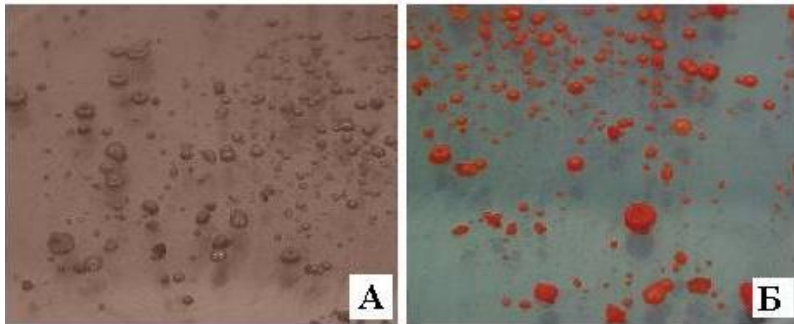
Древнее растение

Современное растение

Жизнеспособные микроорганизмы из горизонтов лёссово-ледовых комплексов Колымы



а - зеленые водоросли (*Chlorococcum* sp.); б - цианобактерии (*Anabaena* sp.); в - клетка дрожжей; г - гифы стрептомицета; д, е - клетки грамотрицательной и грамположительной бактерий.



Жизнеспособные грамотрицательные и грамположительные бактерии из наиболее древних, позднеплиоценовых, мерзлых горизонтов; (краситель DТАF):

А - грамотрицательные, Б - грамположительные.

На Колымской низменности, где сохранились наиболее древние синкриогенные горизонты, обнаружена и самая древняя жизнеспособная палеомикрофлора Северного полушария

Многочисленные и разнообразные живые микроорганизмы: прокариоты, зеленые водоросли, цианобактерии, актиномицеты, грибы и дрожжи.

Это единственные организмы, сохраняющие жизнеспособность в течение геологического времени и восстанавливающие после оттаивания полную физиологическую активность.

Криобиосфера – основа для новых направлений на стыке наук о Земле и Биологических наук



- Наиболее общий, фундаментальный характер носит оценка возможной продолжительности жизни:

- «КАК ДОЛГО И В КАКИХ УСЛОВИЯХ СОХРАНИТЬСЯ»

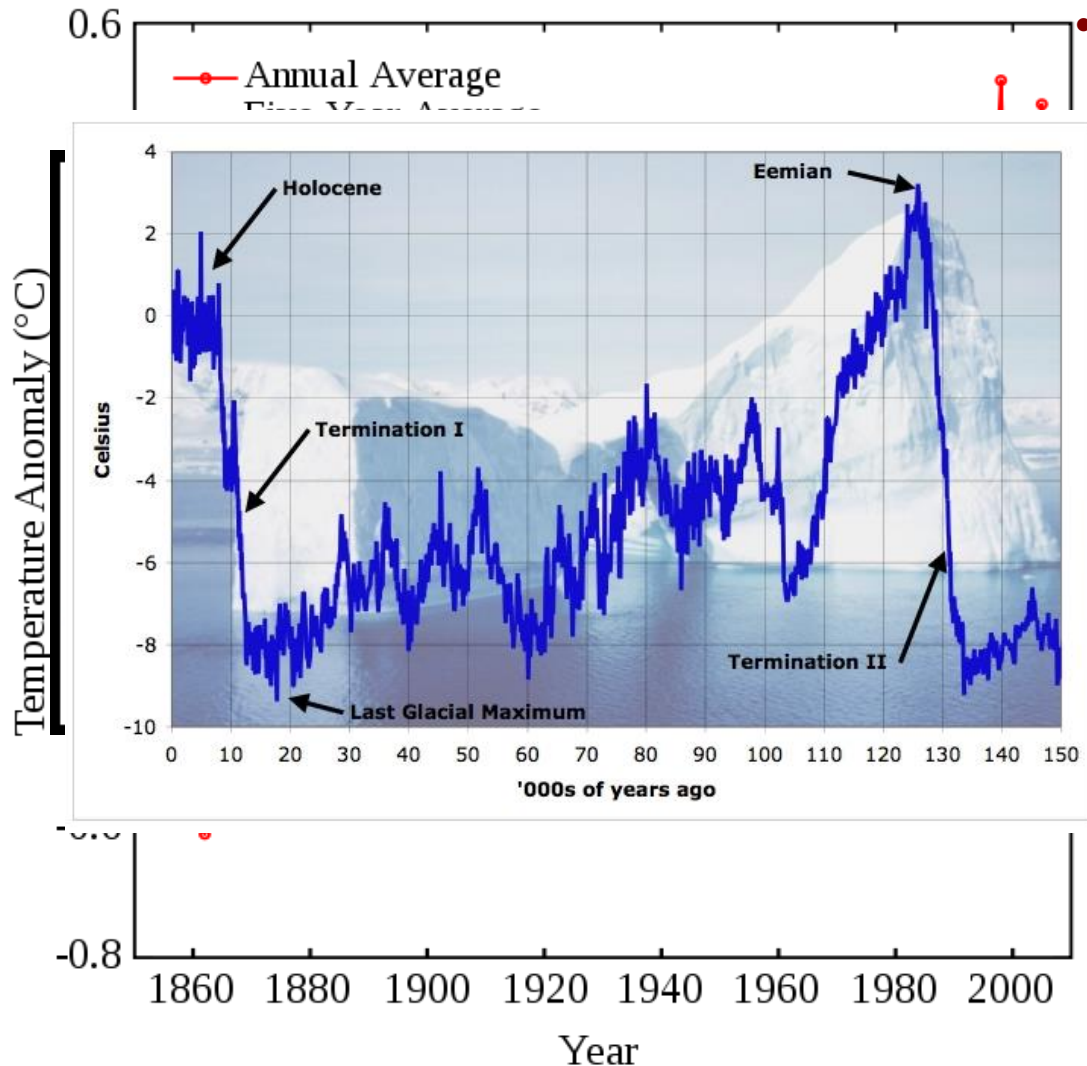
Astrobiology

Криобиосфера во всех частях Земли до глубин 400 м (Арктика) и среднегодовых температурах пород (t) до -25°C (Антарктида).

- Возраст криобиосферы:
- до 3 млн. лет на севере Евразии
- до 12 млн. лет в Антарктиде.

1 - Внутренняя Арктика; 2 - Внутренняя Арктика; 3 - Внутренняя Арктика; 4 - Сухие льды Антарктиды, 5 - Западная Сибирь.

Новые междисциплинарные вызовы (глобальные изменения климата)



Последнее межледниковье – наиболее близкий аналог современного состояния

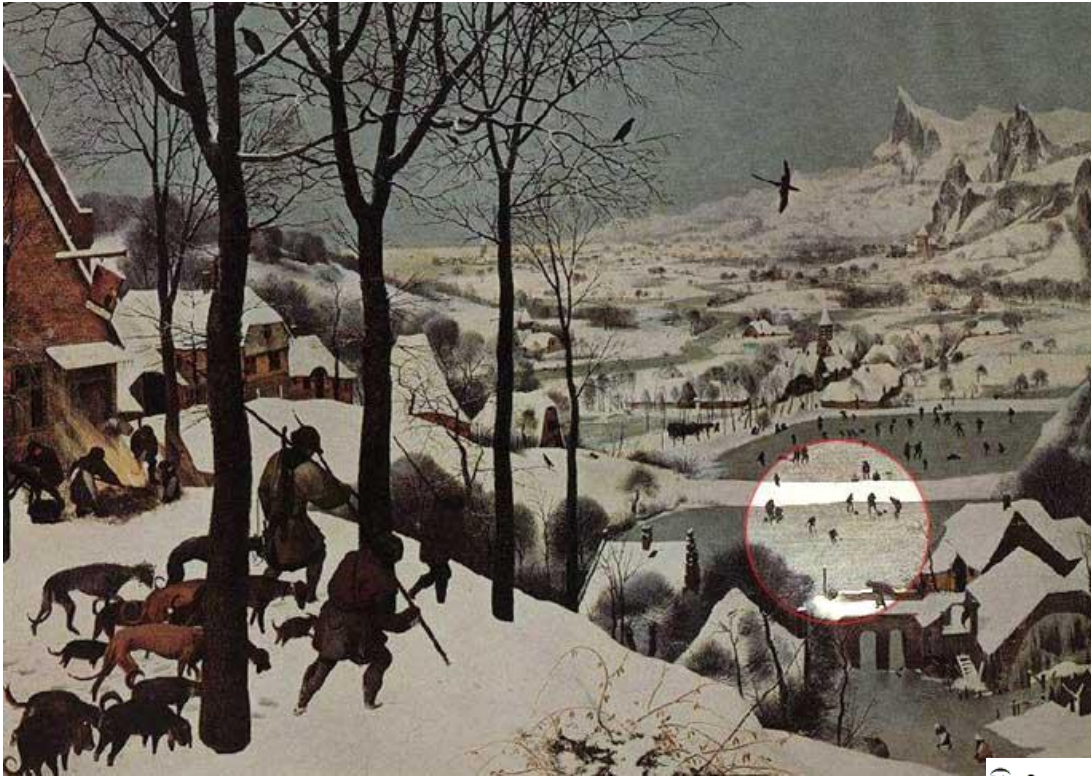
- MIS 5e, 126,000 - 115,000 лет назад (MIS 11 – хуже сохранилась, менее полная запись)
- Среднегодовые температуры в центральной Европе на 1-2 °C выше
- Уровень моря – на 4-6 м выше
- SRES (Special Report on Emission Scenarios) прогнозирует подобные параметры на 2100 год.

С другой стороны: Голоцен (теперешнее межледниковье) длится уже 11500 лет – дольше, чем другие.

По-видимому, намечается переход к новому ледниковому периоду

- Аналог стадии MIS 5d – MIS 5a?

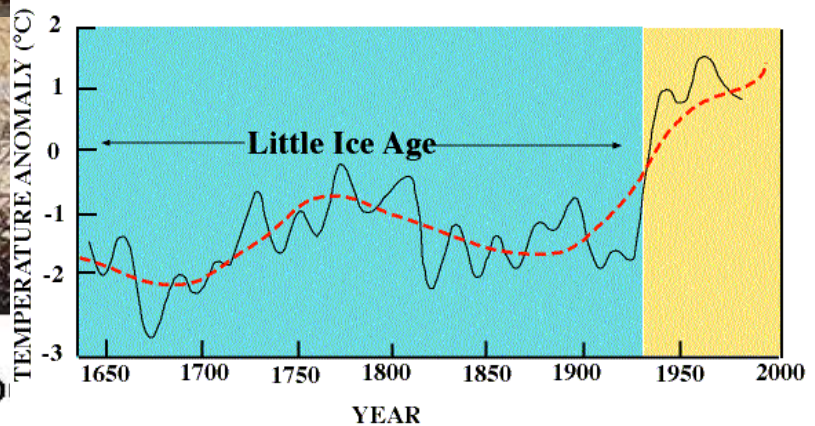
Малый ледниковый период в Европе



Питер Брейгель (Старший)
"Охотники на снегу" (Цикл
"Времена года". "Февраль")

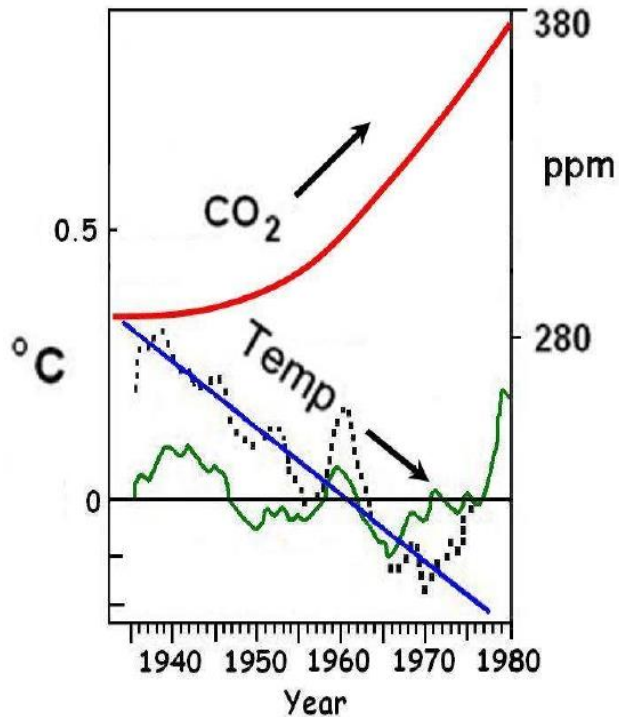


Зимний пейзаж с конькобежцами. Бр

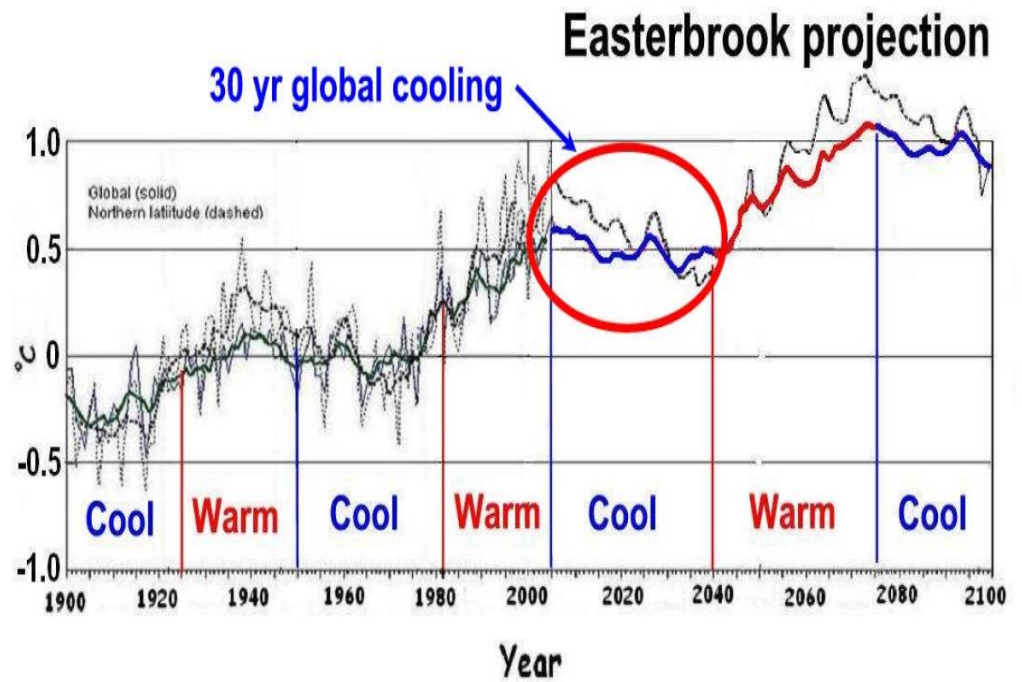


Парниковый эффект - единственная причина современного потепления?

Глобальное похолодание при
быстром росте атмосферного
CO₂ с 1940 по 1977.



Прогноз глобальных температур на 21 век на
основе циклов потепления/похолодания в
предшествующие столетия



Альтернативные точки зрения

- Наблюдаемое потепление находится в пределах естественной изменчивости климата и не нуждается в отдельном объяснении
- Потепление является результатом выхода из холодного Малого ледникового периода
- Потепление наблюдается слишком непродолжительное время, поэтому нельзя достаточно уверенно сказать, происходит ли оно вообще

Climate change для полярных регионов

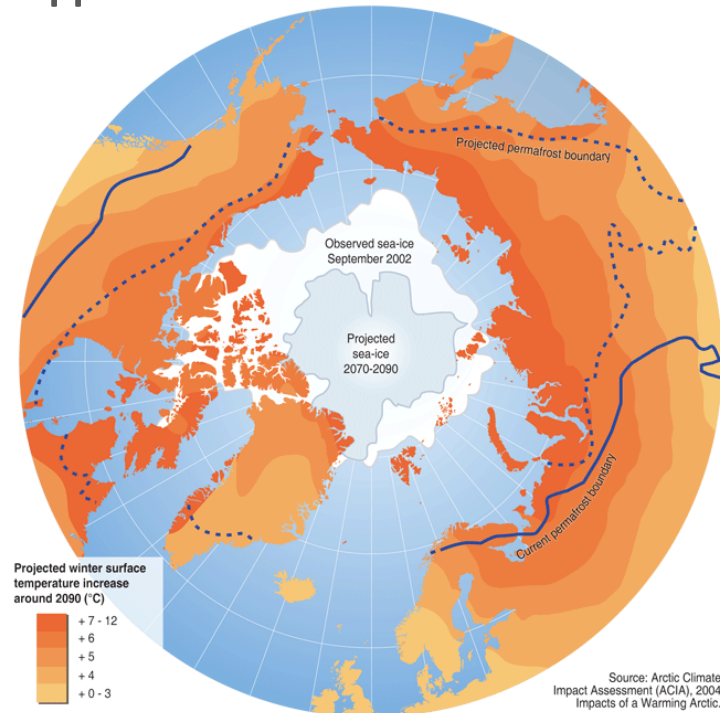
современные и прогнозируемые (2090) границы вечной мерзлоты и полярных льдов



В полярных широтах температура за последние 30 лет поднялась на $0,6^{\circ}\text{C}$ в два раза больше чем в среднем на планете.

При продолжении существующего тренда потепления от 5%–15% подвержены риску эмиссии

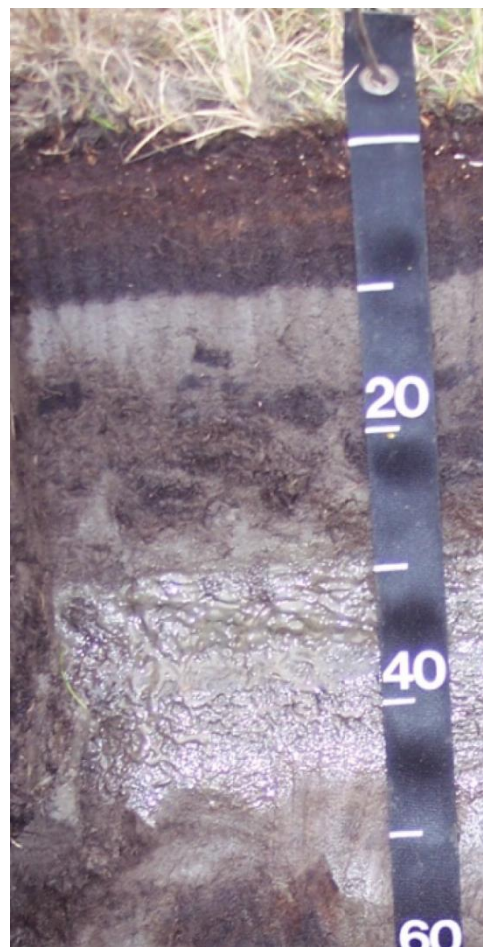
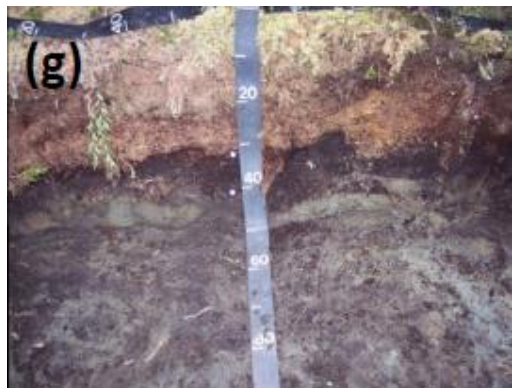
Эмиссия даже небольшой части запасов углерода может повлиять на глобальное изменение климата в течение первых десятков лет.



Погода **uqgianaqtuq**

Жизнь аборигенов Аляски всегда была связана со льдом и снегом
Охота и рыбалка требовали предсказаний погоды

Полярные регионы – 15% почвенного покрова планеты. Запасы углерода
- 1 млрд тонн в слое 3 м - треть от запасов на планете



Консервация углерода в современных почвах
полярных областей

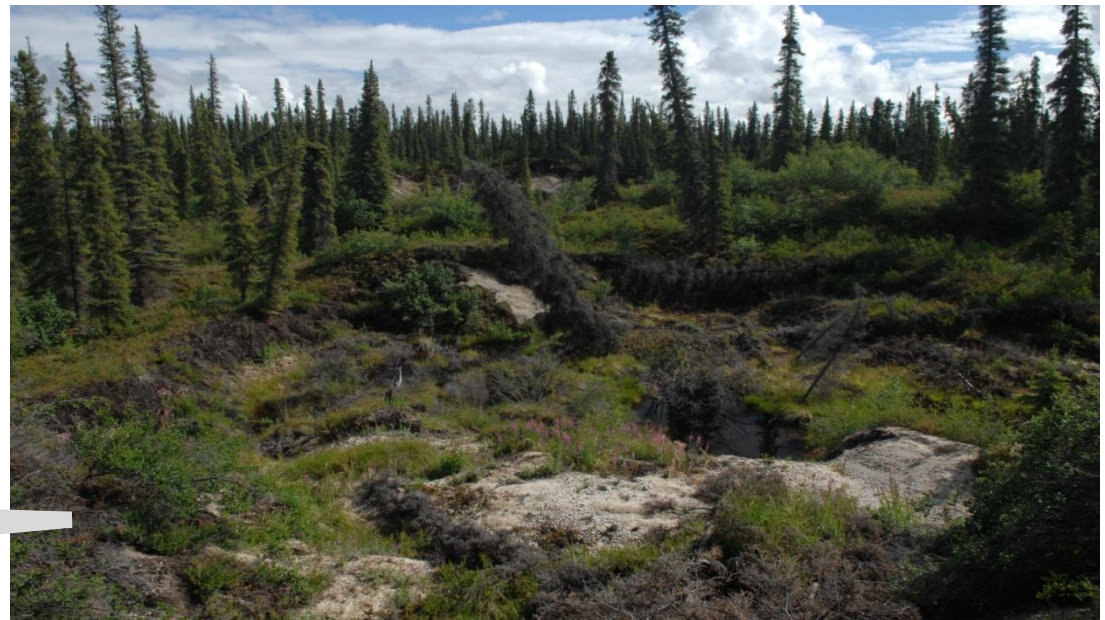
Ранимость едомных ландшафтов



Едома после пожара



Абразия берегов, Аляска. Разница – 2 часа



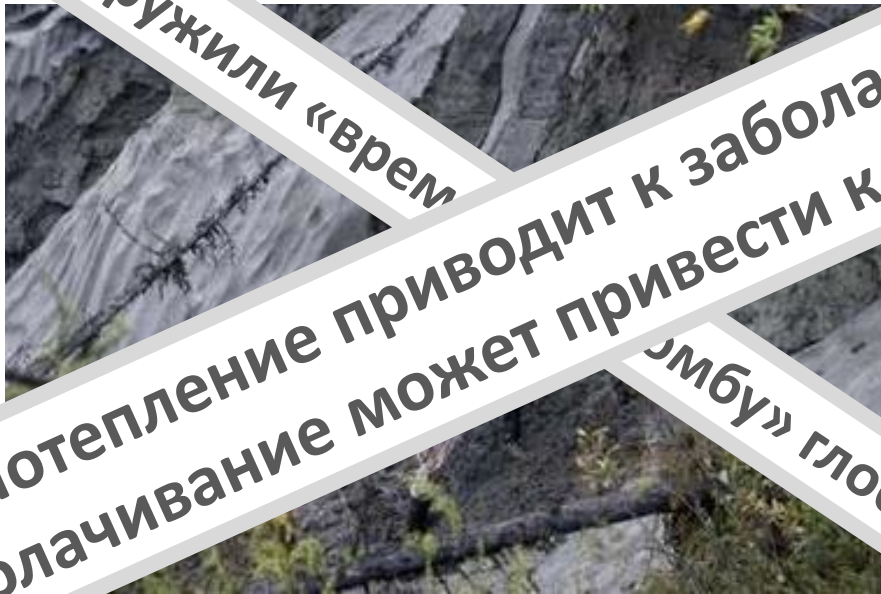
Пьяный лес, Юкон

Scientists Find New Global Warming 'Time Bomb'

by Seth Borenstein

Published on Thursday, September 7, 2006 by the Associated Press

The amount of carbon trapped in some types of permafrost — called yedoma — is much more prevalent than originally thought and may be



Methane — Global warming gases trapped in the soil are bubbling out of the thawing permafrost in amounts far higher than previously thought and may trigger what researchers call a climate time bomb.

Methane — a greenhouse gas 23 times more powerful than carbon dioxide — is being released from the permafrost at a rate five times faster than thought, according to a study being published today in the journal *Nature*. The findings are based on new, more accurate measuring techniques.

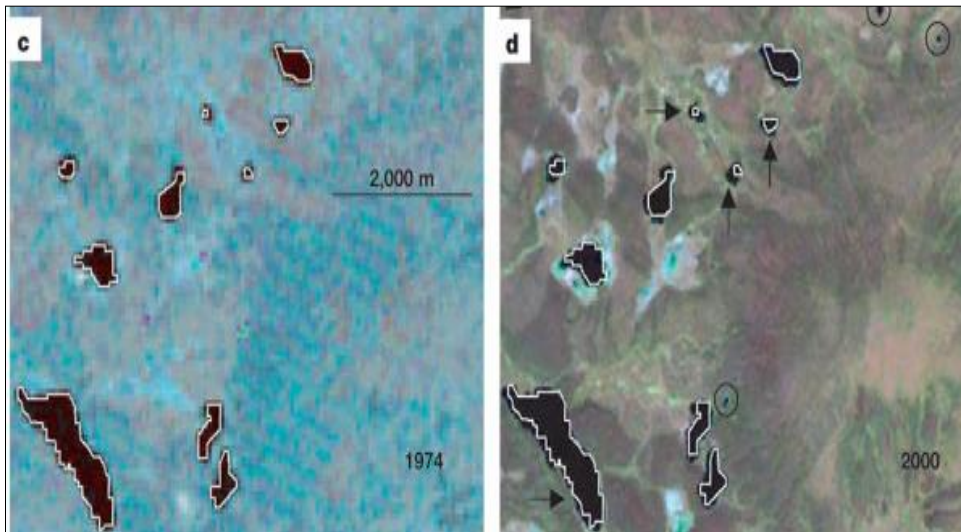
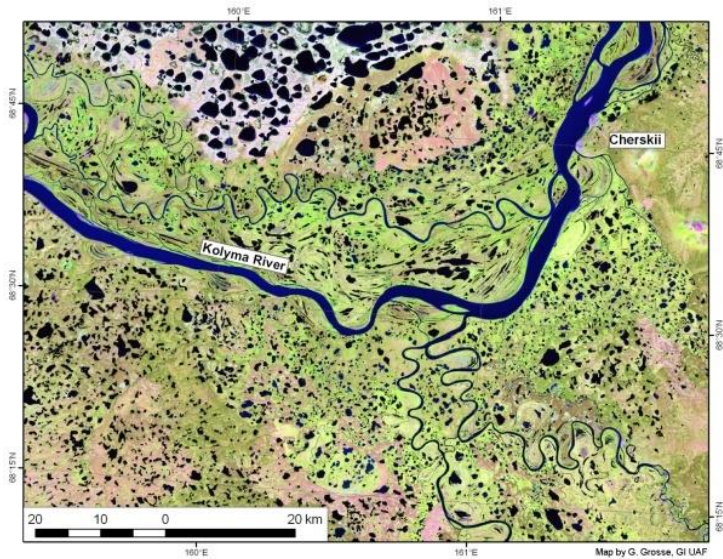
“The effects can be huge,” said lead author Katey Walter of the University of Alaska at Fairbanks said. “It’s coming out a lot and there’s a lot more to come out.”

Учёные обнаружили «время бомбу» глобального потепления

Потепление приводит к заболачиванию, а заболачивание может привести к выбросу метана

air
car
into
each year by
the burning of
fossil fuels

Современные ландшафты Берингии



1974

2000

- Органика, откладываясь на дне термокарстовых озер – при таянии - пища для бактерий, производящих метан.
- Парниковый эффект метана – в 23 раза больше чем у CO₂
- Ряд ученых полагают, что освобождение метана ускорит Global warming гораздо более, чем по самым пессимистическим прогнозам

Благодарю за внимание!

