

Моделирование крупных трансгрессий и регрессий Черного и Каспийского морей в рамках климатических моделей

А.В.Кислов, П.А.Торопов

Московский университет

Географический факультет

кафедра метеорологии и климатологии

6 декабря 2007

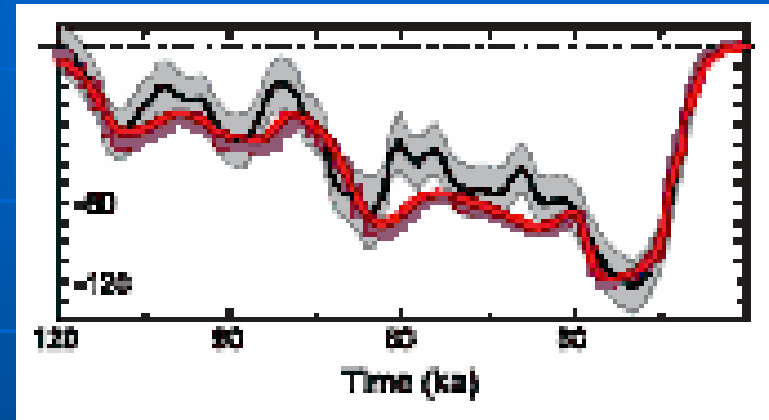
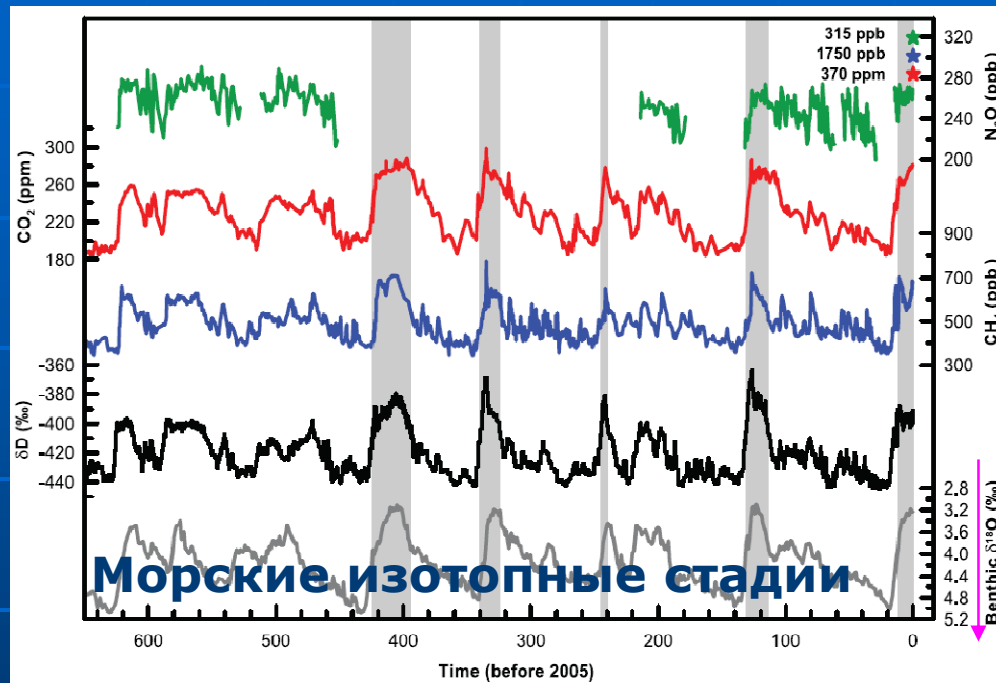


П Л А Н

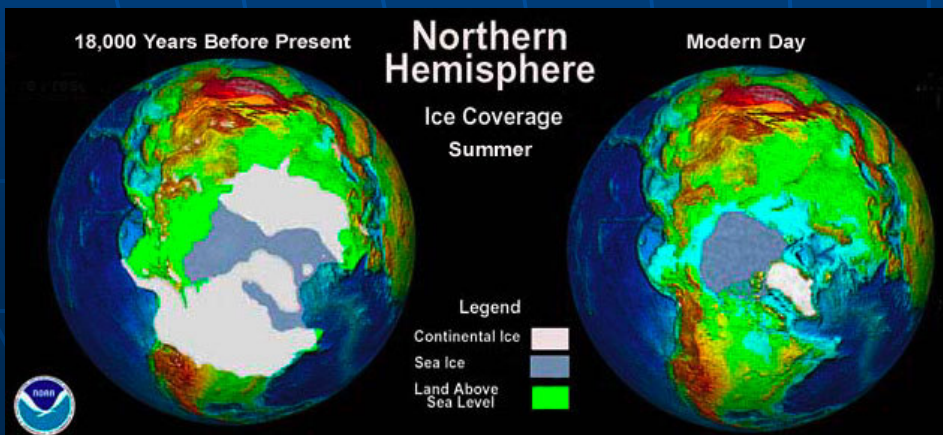
- Эмпирические данные о колебаниях уровней морей и Мирового океана.
- Стационарное состояние уровня бессточных озер или морей.
- Моделирование климата. Тестирование моделей с точки зрения применимости модельных данных к решаемой проблеме. Выбор ансамбля «успешных» моделей.
- Оценка вариаций речного стока в палеовремени.
- Моделирование колебаний уровней Черного и Каспийского морей.

Эмпирические данные о колебаниях уровней морей и Мирового океана

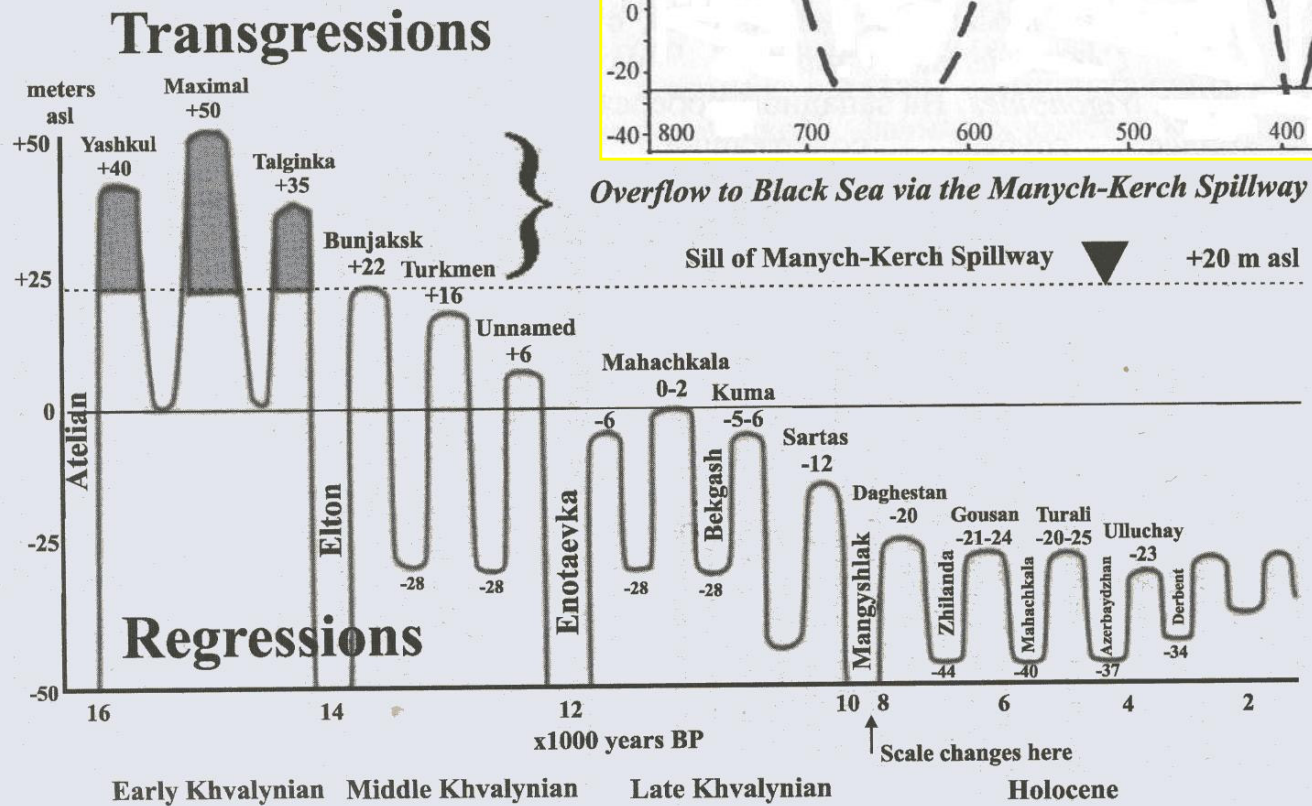
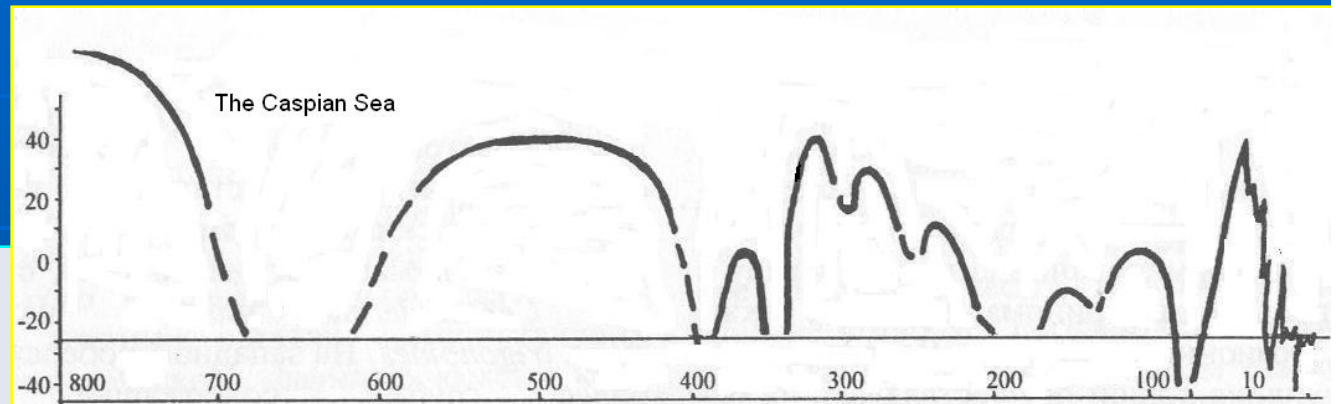
Вариации дейтерия ($t, ^\circ\text{C}$), CO_2 , CH_4 , N_2O в Антарктическом ледниковом керне, кривая $\delta^{18}\text{O}$ в морских отложениях, колебания уровня океана



Изменения уровня связаны с изменениями объема воды (эвстатические изменения), роль вариаций плотности (стерические изменения) при данных амплитудах (на десятки метров) изменений мала. Деформационными изменениями пренебрегаем.



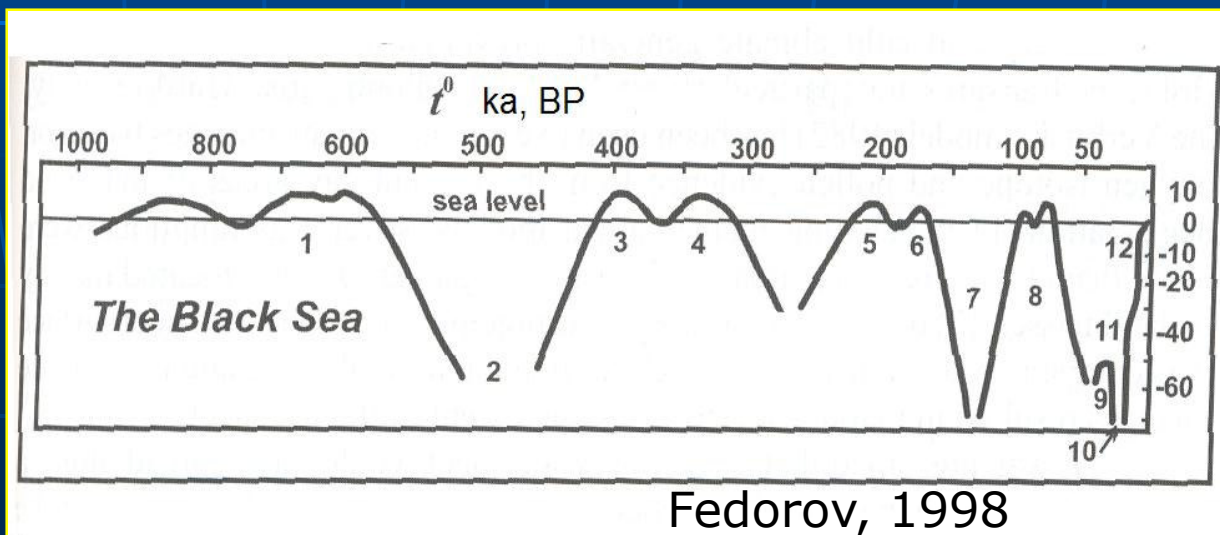
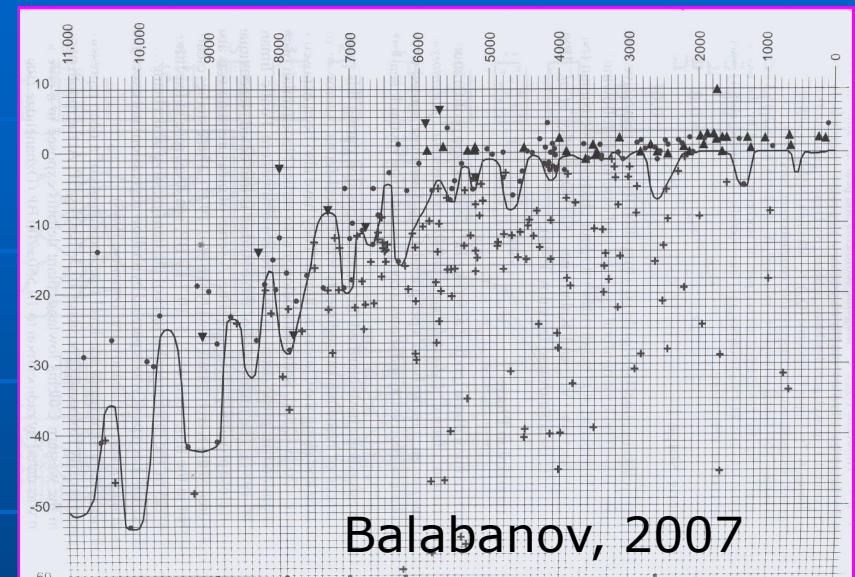
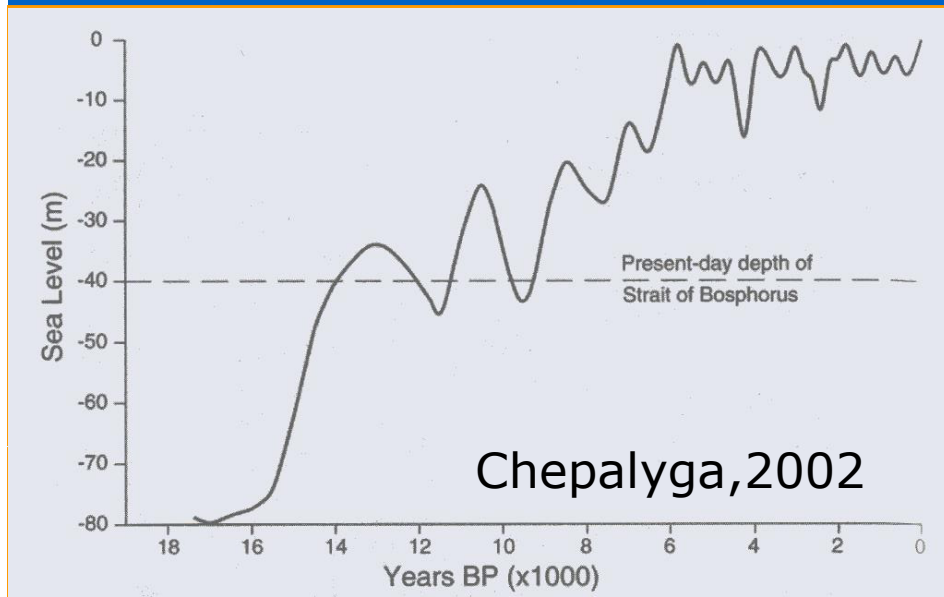
Вариации уровня Каспийского моря



Svitoch,
2003

Chepalyga, 2007

Вариации уровня Черного моря



Потоп: затопление древних поселений на западном шельфе Черного моря 14-15 тыс. лет назад

Археологические находки на дне моря



«Через семь дней воды потопы пришли на землю» (Бытие, 10)

«и усиливалась вода на земле чрезвычайно» (Бытие, 19)

Рациональная интерпретация Всемирного потопы: Хвалынская трансгрессия Каспийского моря (14-15 тыс. лет назад) – река Маныч – подъем уровня Черного моря

**Стационарное состояние
уровня бессточных озер или
морей**

Уравнение бюджета воды в бессточном водоеме

$$ef = YF$$

F - площадь водосбора, f - площадь озера, e - разность между испарением и осадками ($E-P$) над «зеркалом» моря, Y – годовой сток.

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{\Delta Y}{Y_0} + \frac{\Delta F}{F_0} - \frac{\Delta e}{e_0}$$

Изменения площади озера относительно современного состояния

$$\Delta h = (\Delta h)_Y + (\Delta h)_F + (\Delta h)_e$$

Вклад различных факторов в вариации уровня

**Моделирование климата
(PMIP). Расчет речного стока.
Тестирование моделей. Выбор
ансамбля «успешных»
моделей**

PMIP1 and PMIP2



Paleoclimate Modelling



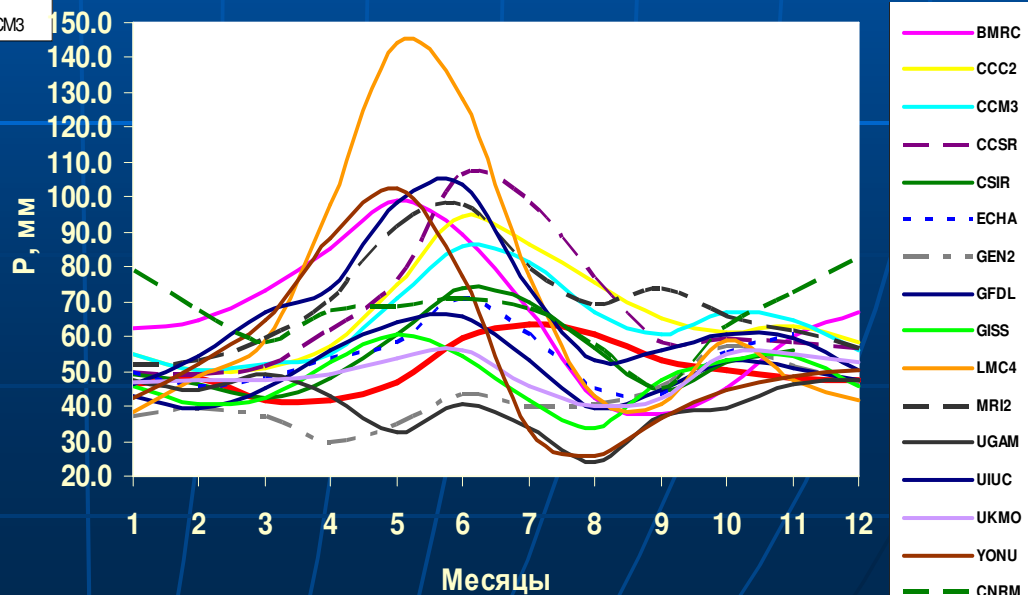
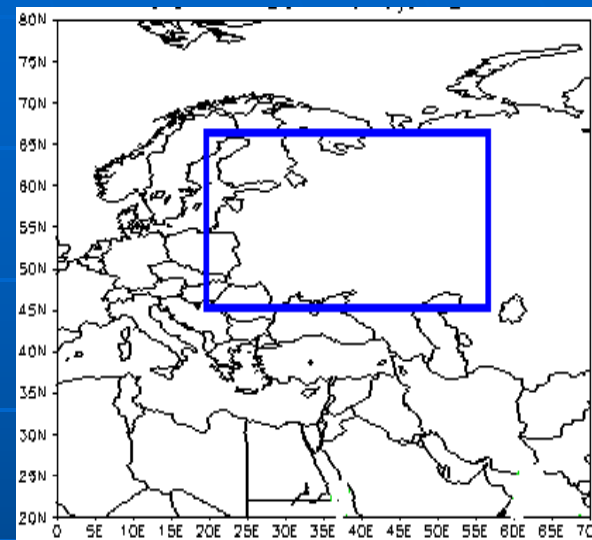
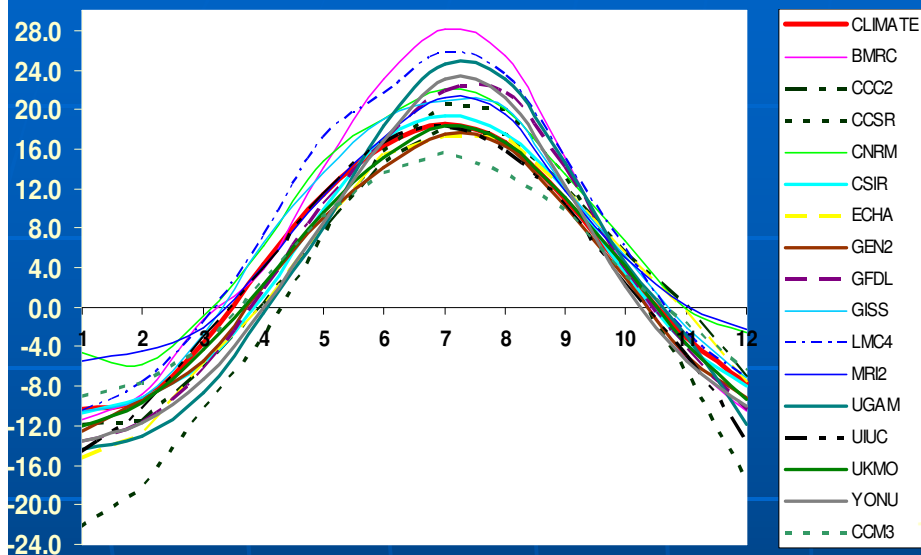
Intercomparison Project

Phase II

<http://www-pcmdi.llnl.gov/pmip>

<http://www-lsce.cea.fr/pmip2/>

Средний многолетний сезонный ход температуры и осадков осредненных по выбранной области для всех МОЦА РМIP



Базы данных и качество данных

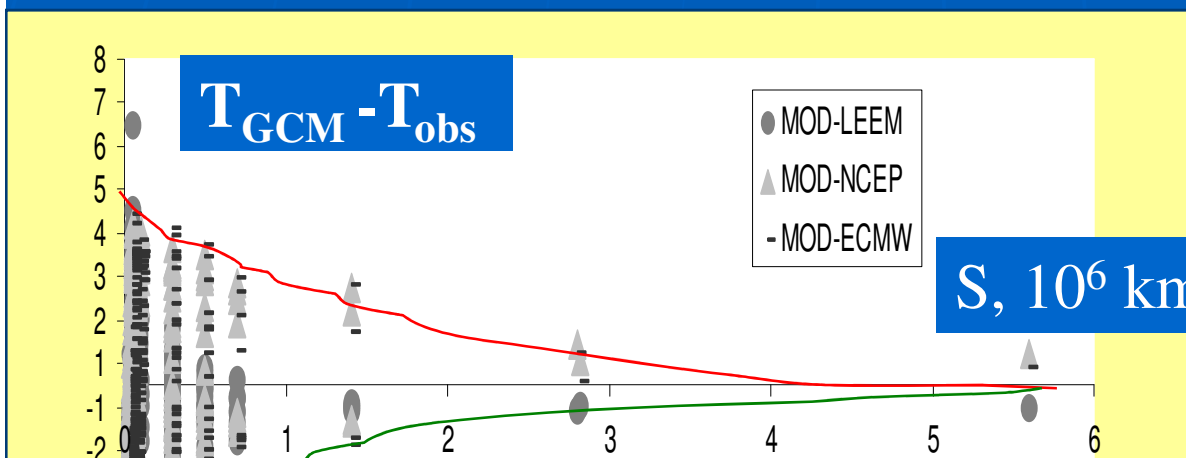
<i>datasets</i>	<i>resolution</i>	<i>temperature</i>	<i>precipitation</i>	<i>evaporation</i>
<i>Re-analysis NCEP\NCAR</i>	2.5°x2.5°	+	+	+
<i>Re-analysis ECMWF</i>	2.5°x2.5°	+	+	+
<i>LEEMANS</i>	0.5°x0.5°		+	+
<i>GPCP</i>	2.5°x2.5°		+	
<i>JAEGER</i>	2.5°x2.5°		+	
<i>LEGATES</i>	2.5°x2.5°		+	

Качество воспроизведения компонентов водного бюджета волжского бассейна некоторыми климатическими архивами

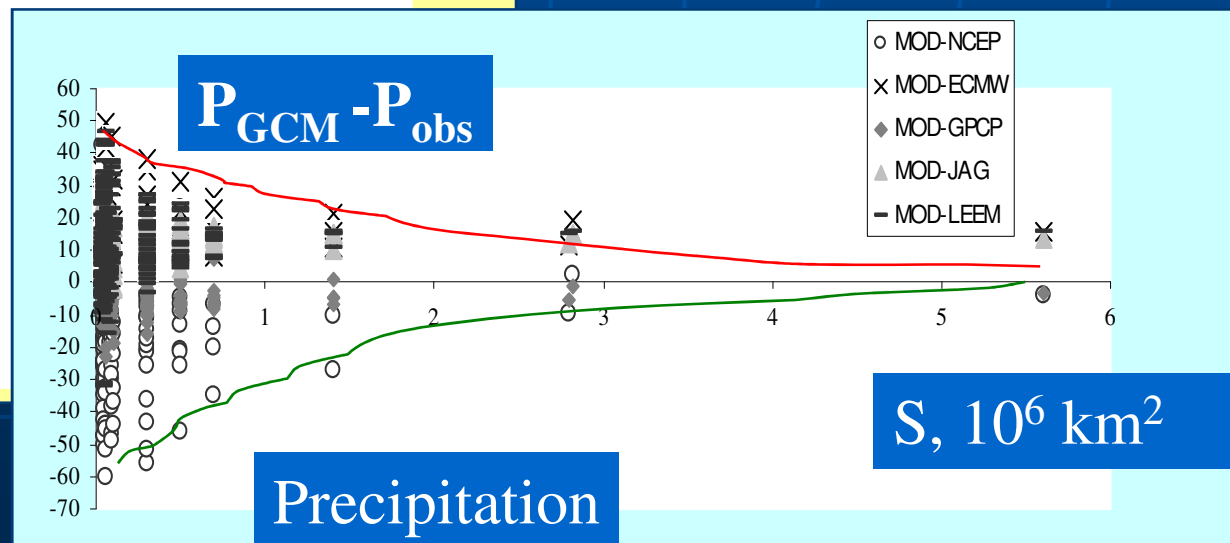
ДААННЫЕ	ОСАДКИ, ММ	ИСПАР, ММ	СТОК, ММ
NCEP/NCAR	590	586	4
ECMW	507	431	76
GPCP	543	-	-
JAEGER	677	-	-
LEEMENS	474	437	37
LEGATES	538	-	-
АНСАМБЛЬ	555	489	66
НАБЛЮДЕНИЯ *			179

Сопоставление модельных и наблюдаемых температуры и давления при разном масштабе осреднения

PMIP1
ансамбль

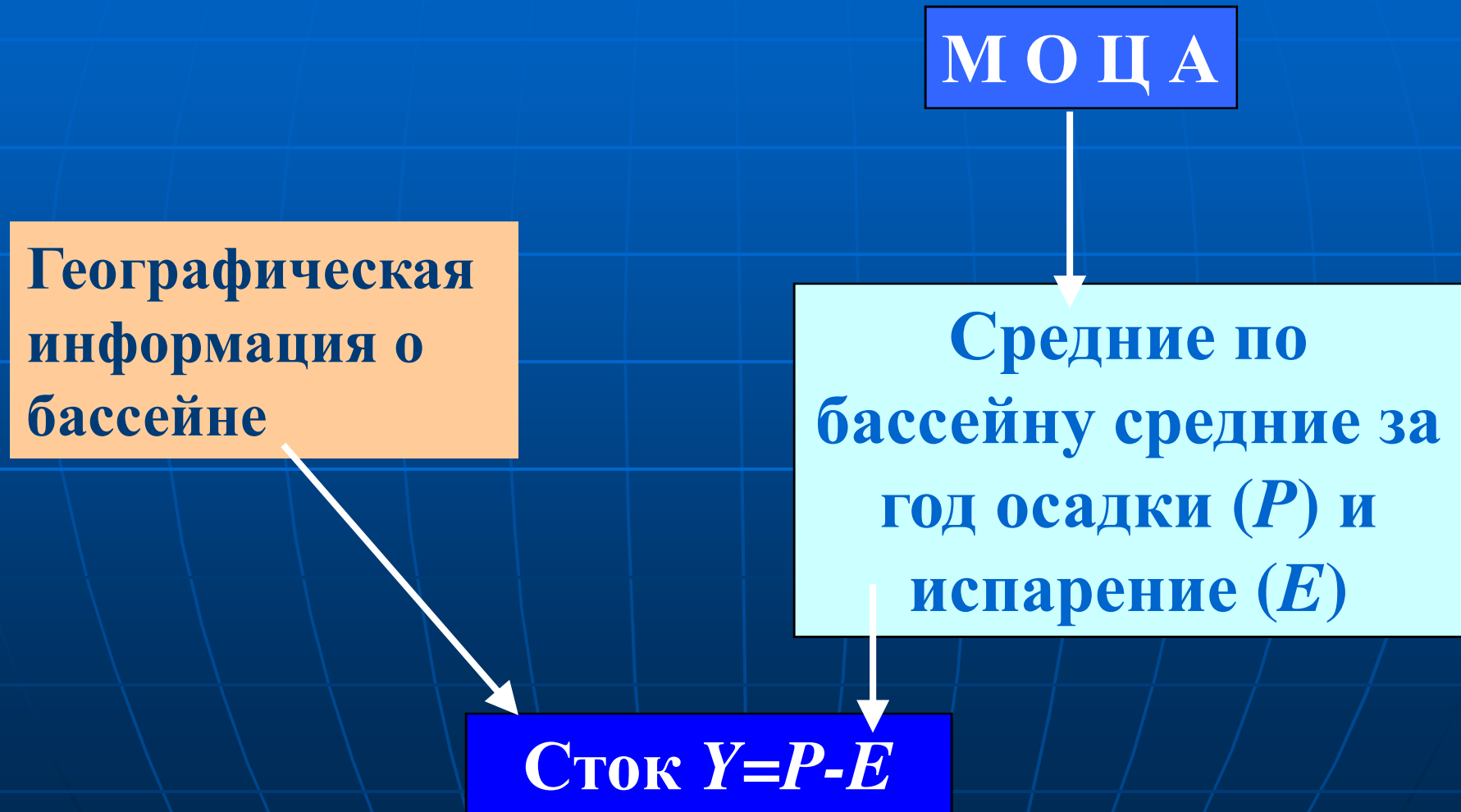


Temperature



Precipitation

Расчет речного стока используя данные МОЦА



Современный годовой речной сток различных морских бассейнов на основе моделей РМIP1

Basines

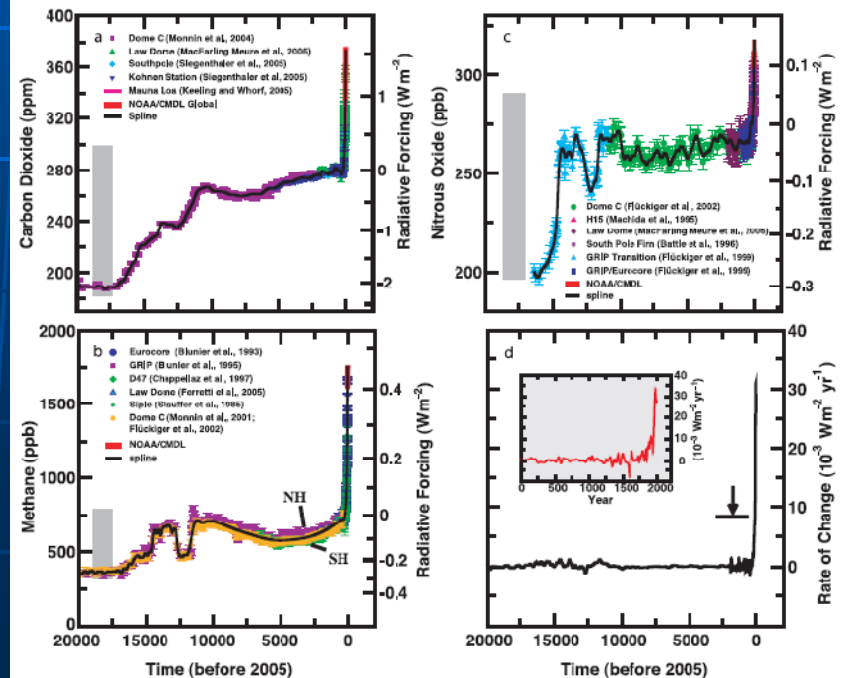
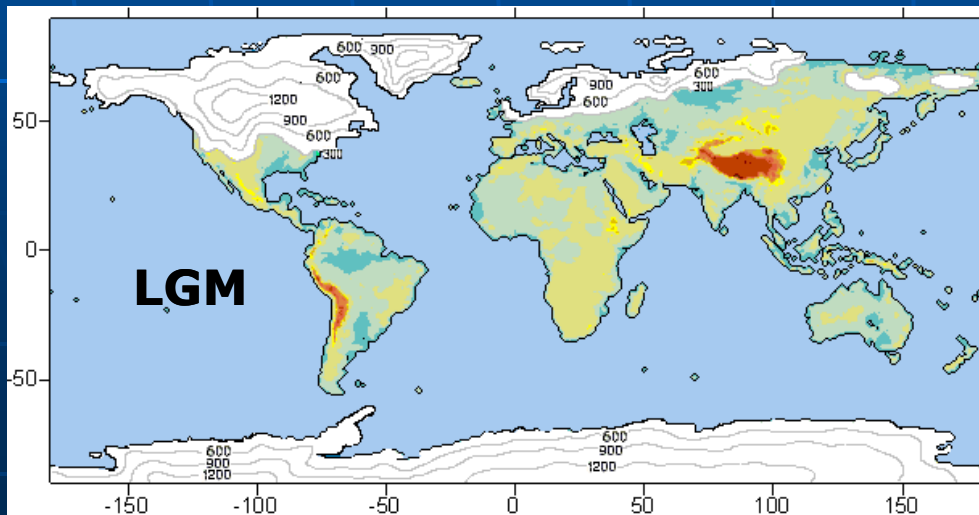
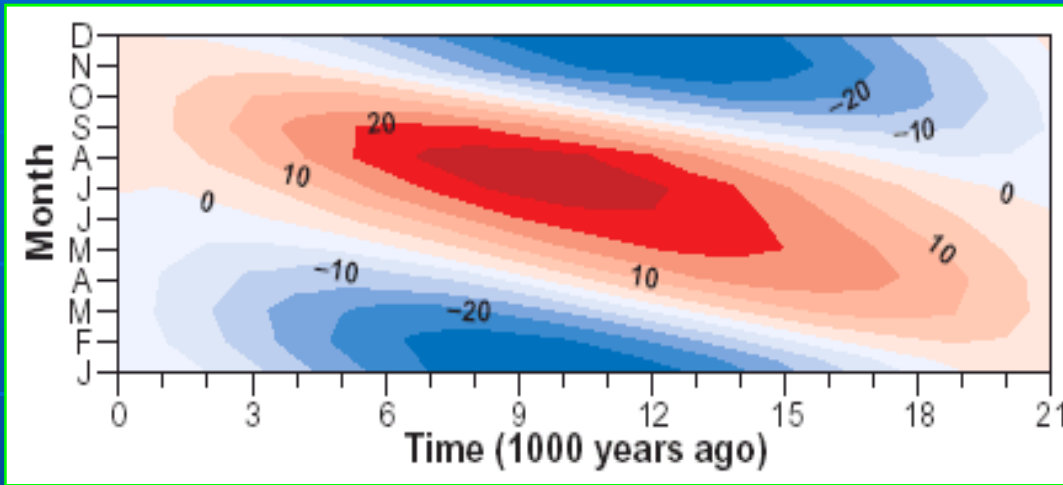
<i>GCMs</i>	Black Sea		Caspian Sea		European Arctic		Baltic Sea	
	km ³	error	km ³	error	km ³	error	km ³	error
<i>BMRC</i>	6,0	-98	68,0	-75	174,2	-62	377,0	-20
<i>CCC2</i>	182,7	-41	242,6	-11	440,6	-3	518,9	10
<i>CCM3</i>	358,2	9	308,7	13	422,5	-7	535,6	14
<i>CCSR</i>	341,7	15	195,5	-29	307,2	-32	491,1	4
<i>CNRM1</i>	262,1	-16	191,8	-30	407,4	-10	568,6	21
<i>CSIRO</i>	251,2	-20	209,5	-24	272,8	-40	372,7	-21
<i>ECHAM3</i>	161,1	-48	173,6	-37	462,7	2	488,7	4
<i>GEN2</i>	225,2	-27	94,5	-66	222,4	-51	402,9	-14
<i>GFDL</i>	238,8	-23	44,3	-84	250,6	-45	416,4	-12
<i>GISS</i>	41,3	-87	94,5	-66	277,2	-39	308,1	-35
<i>LMD5</i>	653,3	109	187,9	-31	201,6	-55	330,2	-30
<i>MRI2</i>	233,1	-25	132,8	-52	308	-32	425,4	-10
<i>UGAM</i>	335,1	7	229,3	-16	407,5	-10	450,1	-4
<i>UKMO</i>	303,8	-3	138,1	-50	339,6	-25	496,3	5
<i>UIUC</i>	515,9	65	141,6	-48	251,8	-44	434,0	-8
<i>YONU</i>	566,5	82	211,8	-23	262,3	-42	414,8	-12

Выбор ансамбля «успешных» моделей

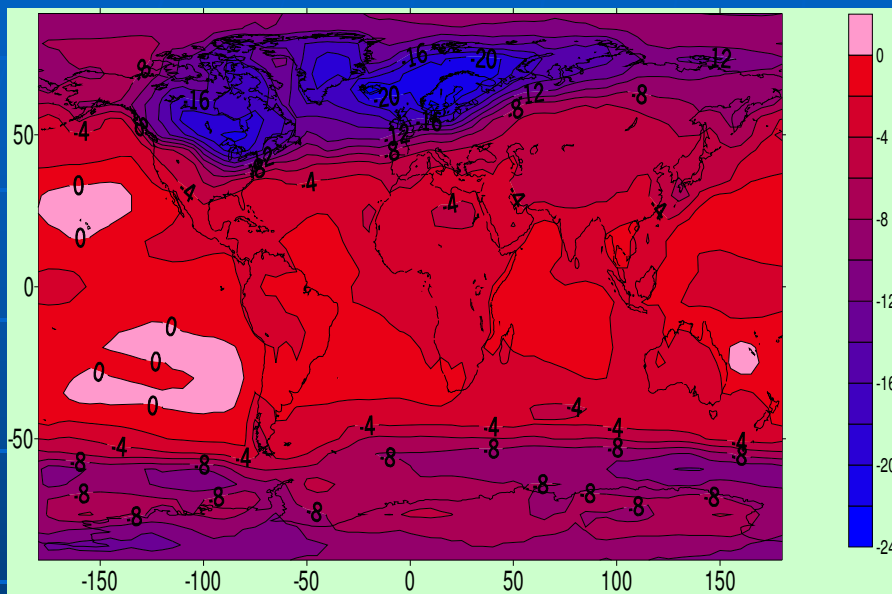
	<i>Basins</i>							
	Black Sea		Caspian Sea		European Arctic		Baltic Sea	
	km ³	Error, %	km ³	Error, %	km ³	Error, %	km ³	Error, %
<i>Ensemble of PMIP models</i>	292,3	-6	166,5	-39	313	-31	439,4	-7
<i>The best models</i>	308,7	-1	260,2	-5	428,1	-5	454,3	-3
<i>Obs.</i>	312	-	274	-	453	-	470,6	-
	$-20\% \leq \Delta Y / Y \leq 20\%$							
<i>The best models</i>	CCM 3, CCSR, CNRM 1, UGAMP, UKMO		CCC 2, CCM 3, CCSR, UGAMP, YONU		CCC 2, CCM 3, CNRM 1, ECHAM 3, UGAMP		CCC 2, CCM 3, CCSR, ECHAM 3, GEN2, GFDL, MRI2, UGAMP, UKMO, UIUC, YONU	

**«Канонические» события 6 и
21 тыс. лет назад.
Оценка вариаций речного
стока.**

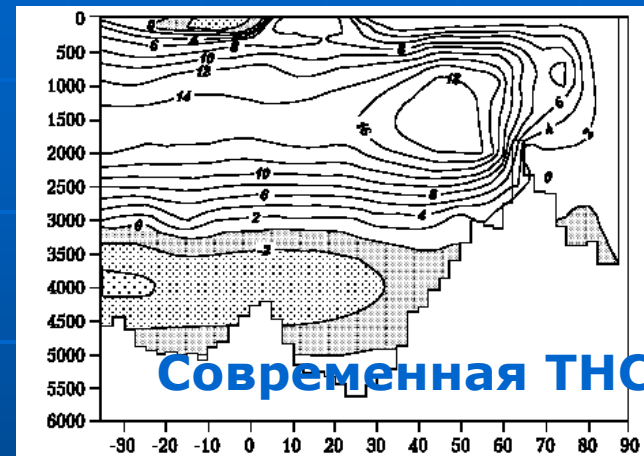
PMIP: граничные условия



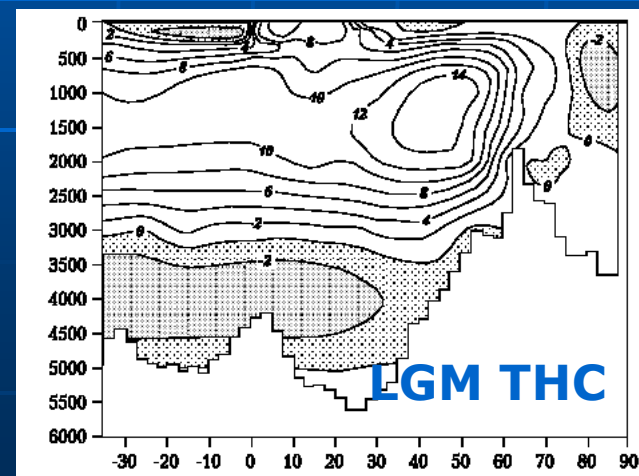
Среднегодовые аномалии температуры (LGM минус современный климат)



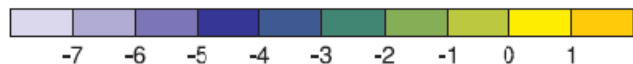
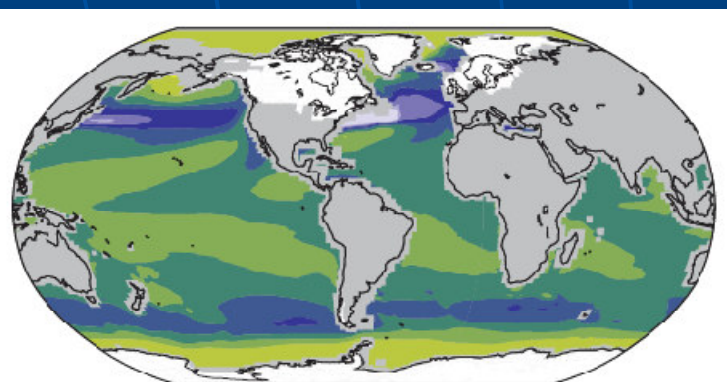
средние
аномалии
по RMIIP
моделям



Современная THC



LGM THC



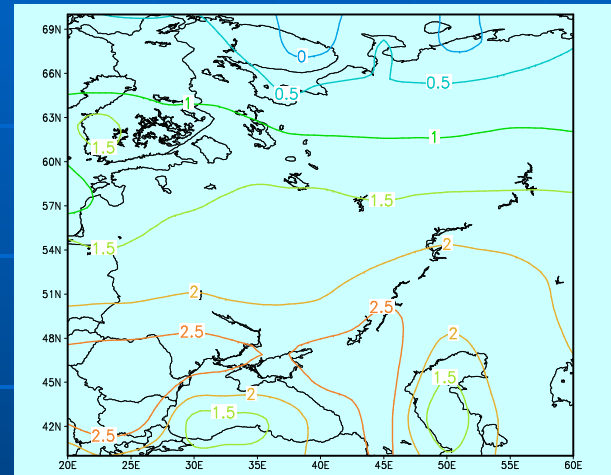
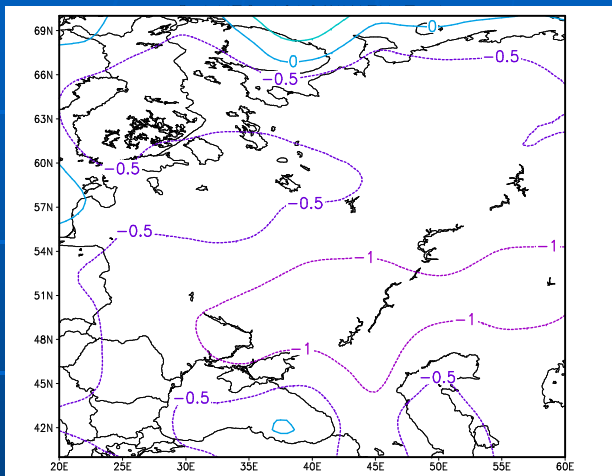
Sea Surface Temperature Change (°C)

Средняя SST.
Модели: CCSM,
FGOALS, HadCM,
IPSL-CM, MIROC.

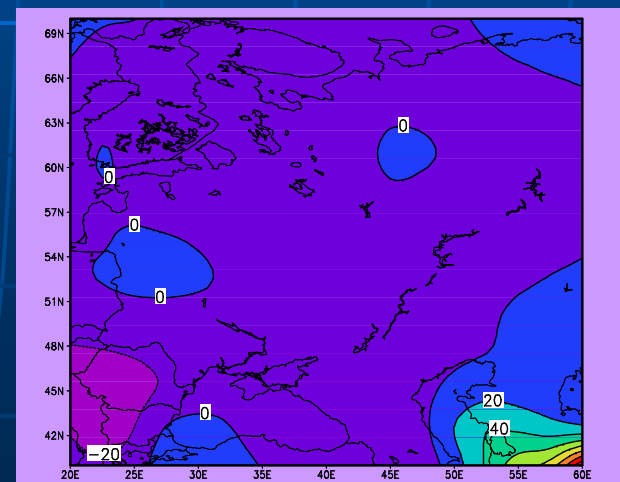
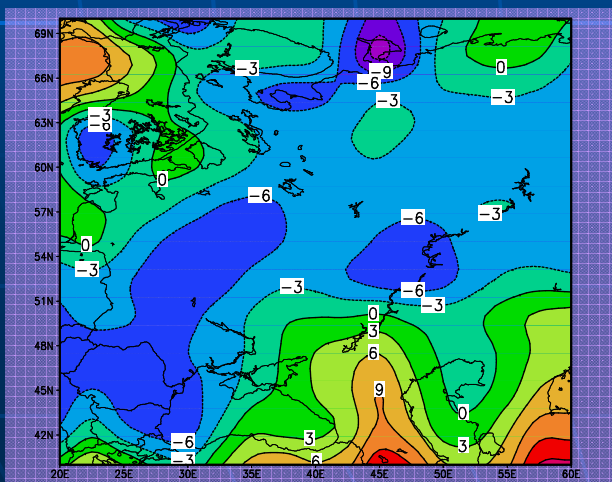
Аномалии температуры и осадков (%) в среднем голоцене (по данным моделирования PMIP)

winter

summer



T

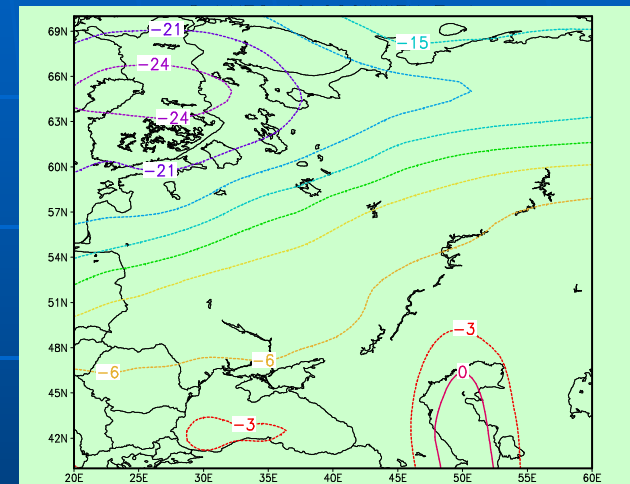
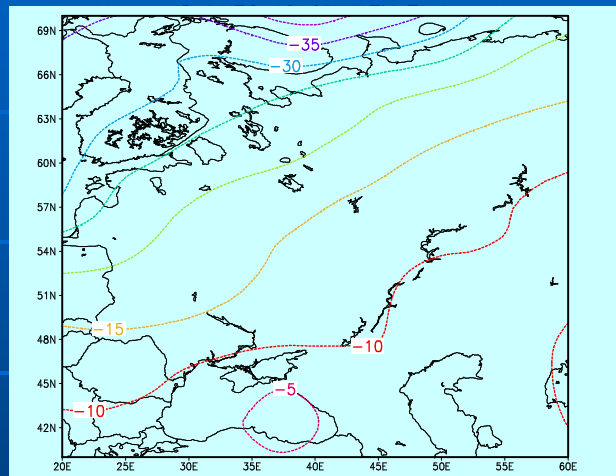


P

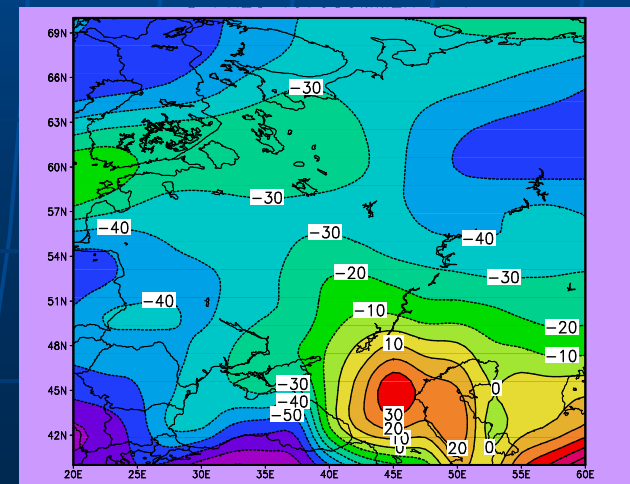
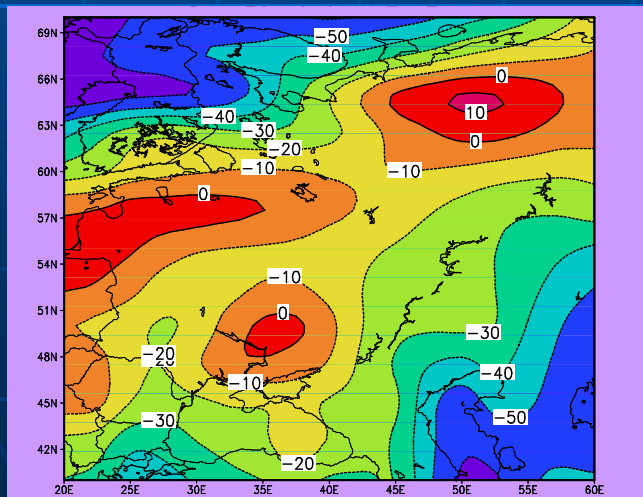
Аномалии температуры и осадков (%) в пик оледенения (по данным моделирования РМIP)

winter

summer



T



P

Изменения речного стока 6 и 21 тыс. лет назад (по данным PMIP)

$\frac{(Y - Y_0)}{Y_0}, \%$	6 ка ВР	21 ка ВР
<i>Ensemble of PMIP models</i>	+14 Каспий	-40
	+9 Черное	-22
<i>The successful PMIP models</i>	+5 Каспий	-56
	-5 Черное	-45

Вклад р. Волга в объем стока воды в Каспийское море

Modern climate - observation

84%

Modern climate - the successful PMIP models

88%

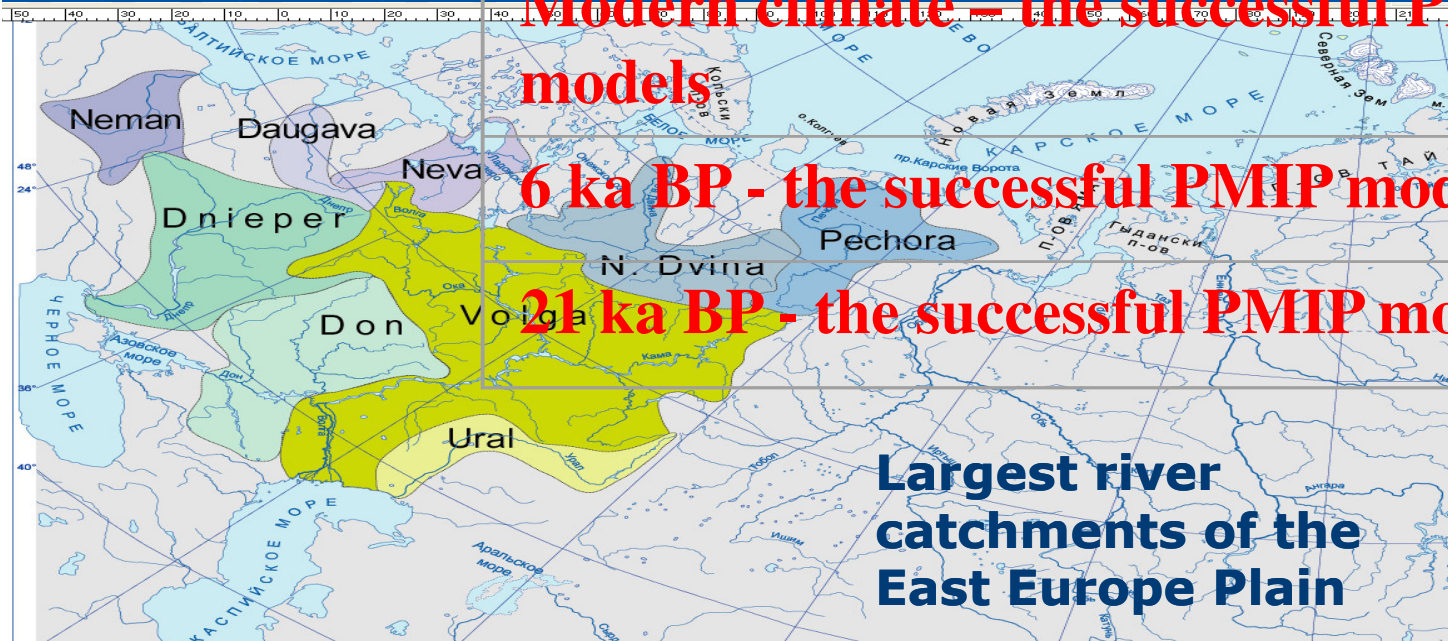
6 ka BP - the successful PMIP models

93%

21 ka BP - the successful PMIP models

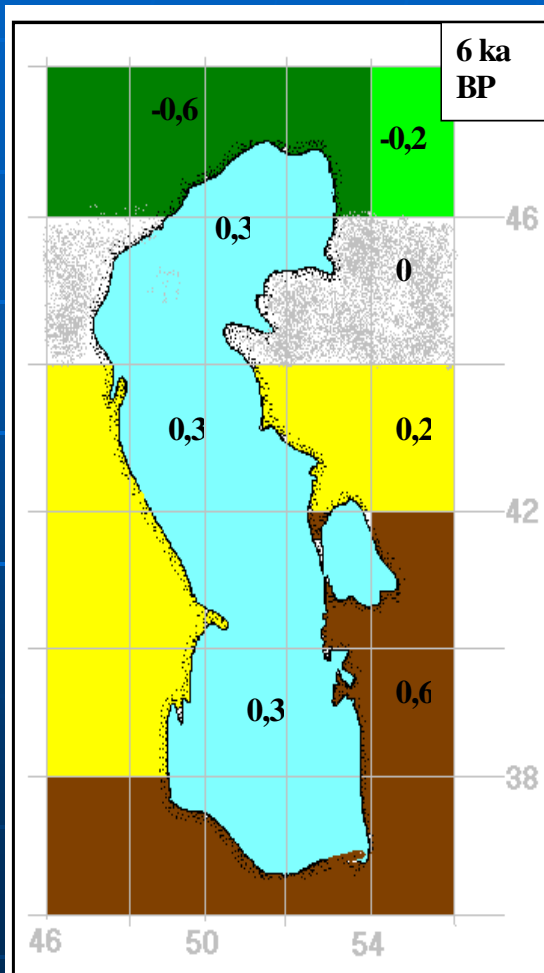
72%

Largest river catchments of the East Europe Plain



Моделирование колебаний уровней Черного и Каспийского морей

Факторы, определяющие вариации уровня моря 6 тыс. лет назад



The steady-state equation of the annual water budget for a closed lake is:

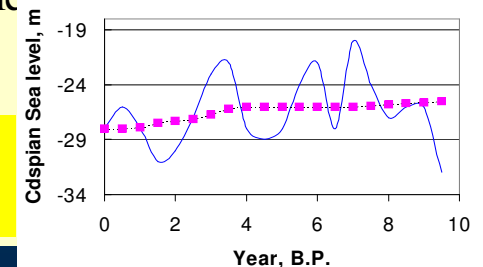
$$ef = YF$$

where F is the area of the catchment, f is the area of the lake surface, $e=E-P$, Y is the runoff from the catchment into the lake. Variation of the lake area relative to the present may be expressed in the form

$$\Delta f = \underbrace{F\Delta Y / e_0}_{\text{small, >0}} + \cancel{Y\Delta F / e_0} - \underbrace{f\Delta e / e_0}_{\text{small, >0}}$$

There is an well-known empirical connection between lake-area change and lake-level change. It allows to evaluate the contribution of different factors connected with variation of e , F and Y to change of the level sea:

$$\Delta h = (\Delta h)_Y + (\Delta h)_F + (\Delta h)_e \approx 0$$



Факторы, определяющие вариации уровня моря 21 тыс. лет назад

The steady-state equation of the annual water budget for a closed lake is:

$$ef = YF$$

where F is the area of the catchment, f is the area of the lake surface, $e = E - P$, Y is the runoff from the catchment into the lake. Variation of the lake area relative to the present may be expressed in the form

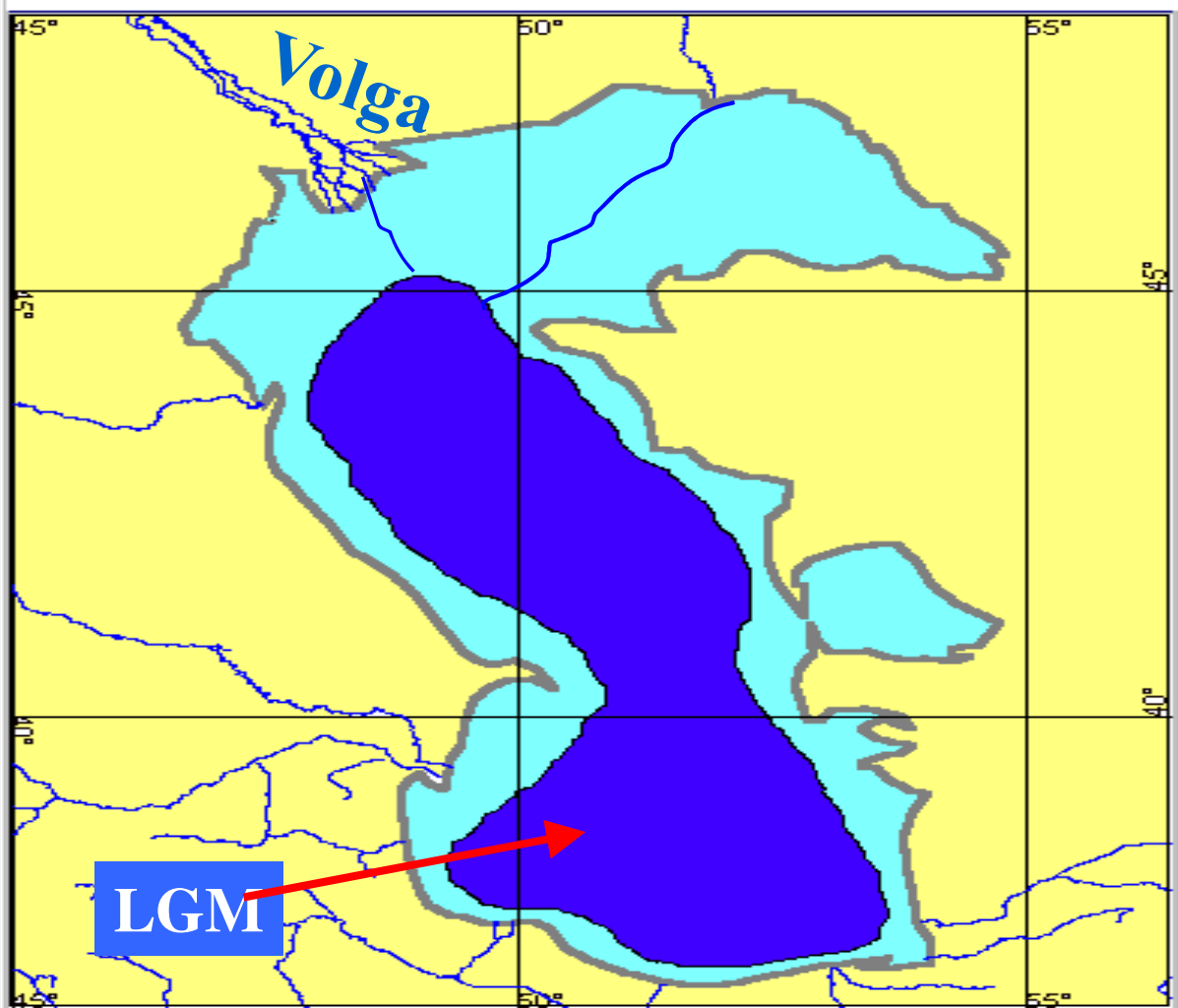
$$\Delta f = F \Delta Y / e_0 + Y \Delta F / e_0 - f \Delta e / e_0$$

Small, compare to runoff term

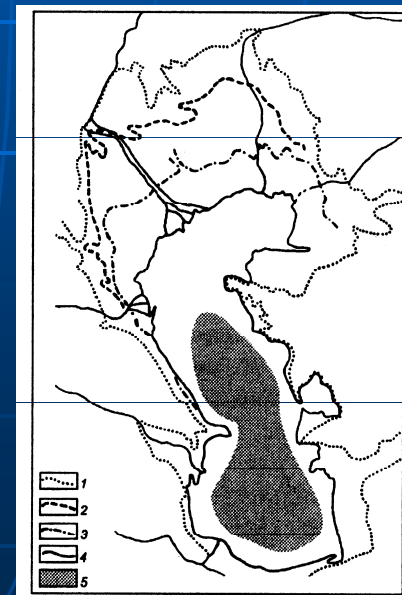
There is an well-known empirical connection between lake-area change and lake-level change. It allows to evaluate the contribution of different factors connected with variation of e , F and Y to change of the level as:

$$\Delta h = (\Delta h)_Y + (\Delta h)_F + (\Delta h)_e$$

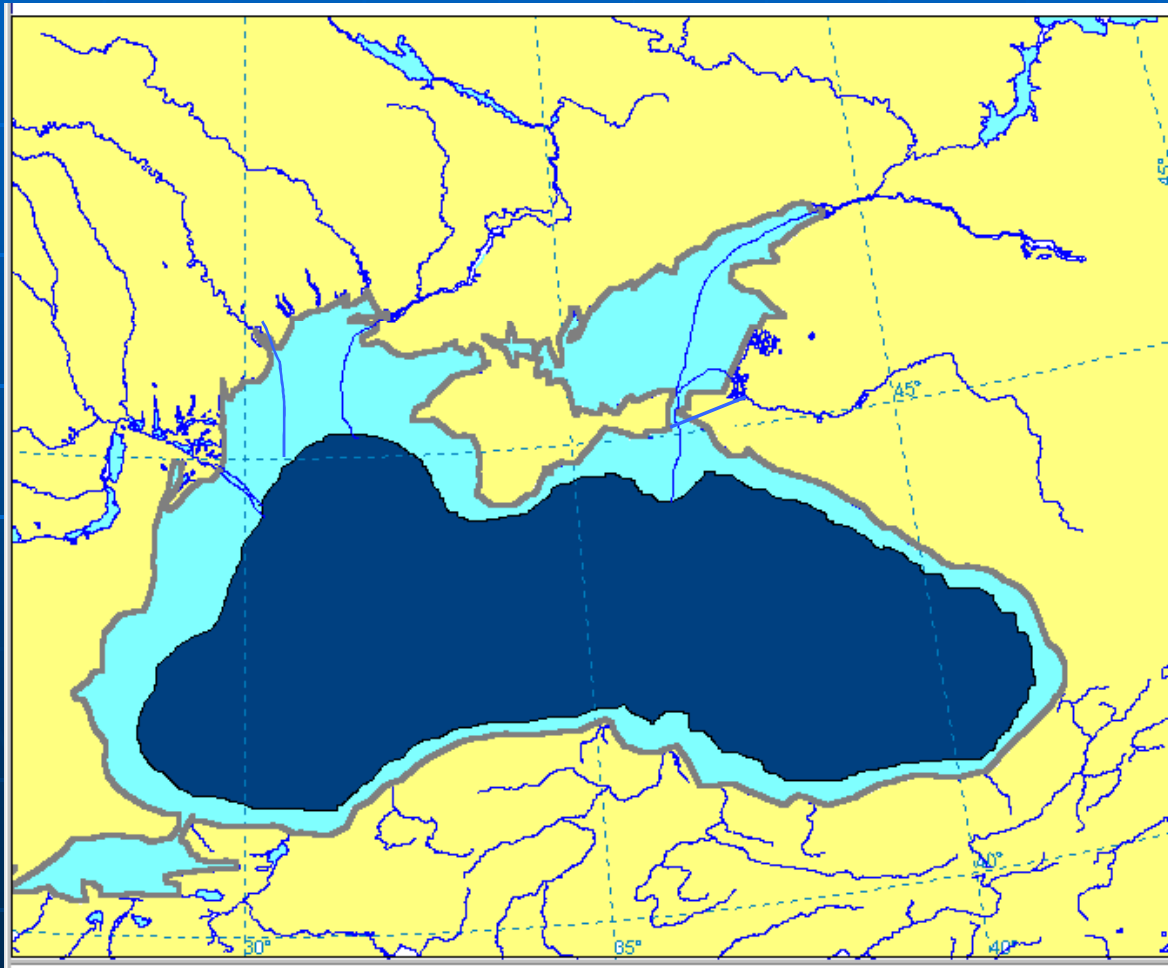
Каспийское море в современных условиях (и в голоцене) и в условиях максимума похолодания и регрессивной стадии



реконструкция



Черное море в современных условиях (и в голоцене) и в условиях максимума похолодания и регрессивной стадии



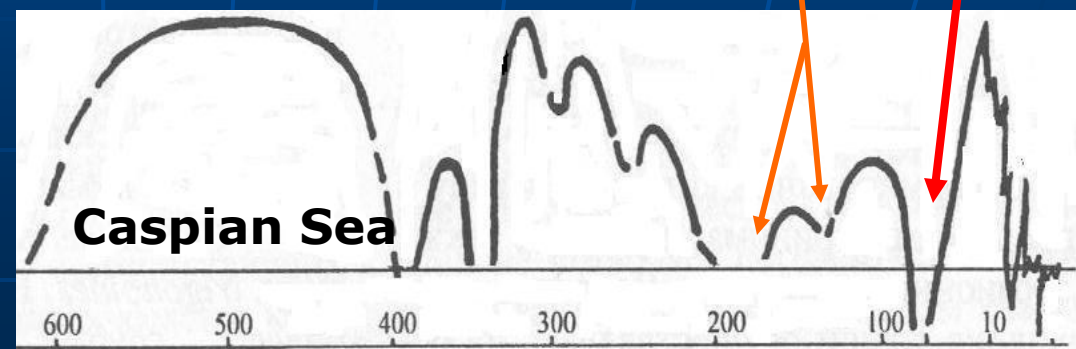
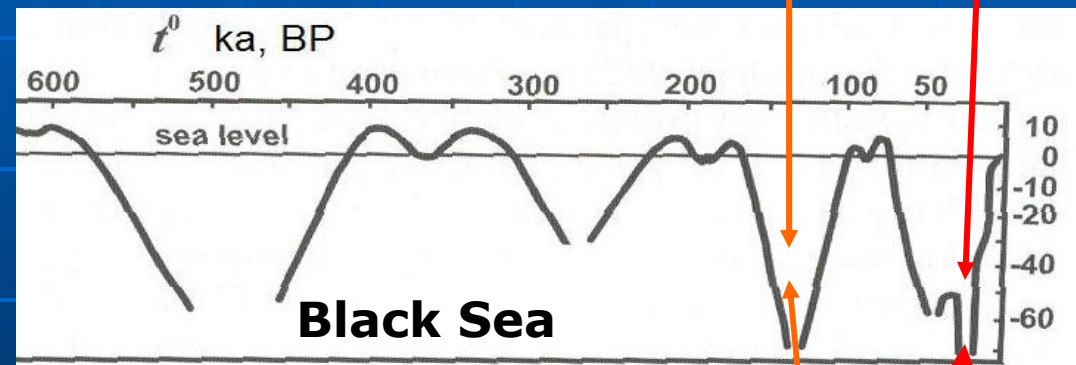
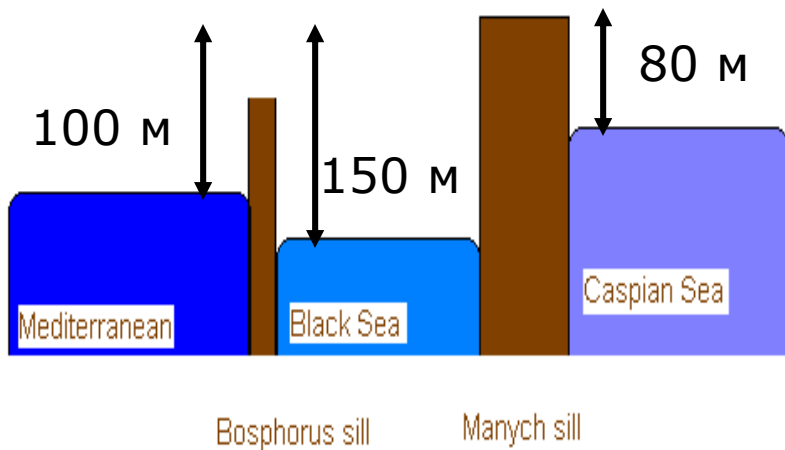
Modern and
reconstructed
Black Sea
area



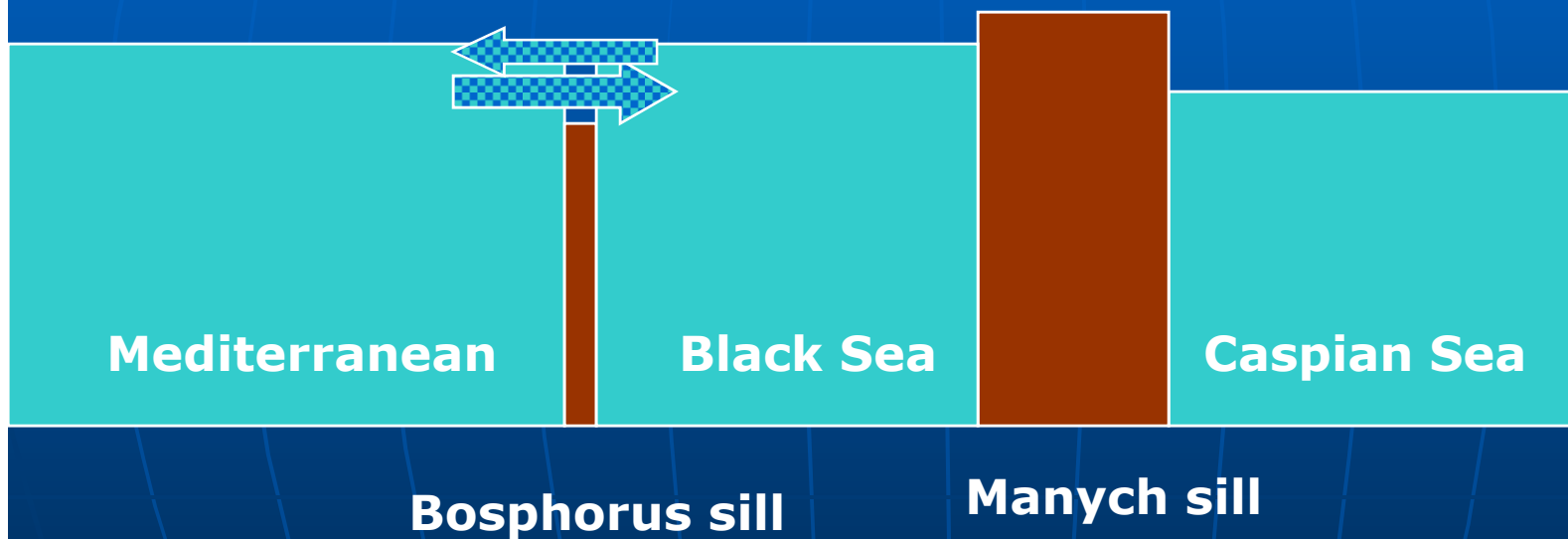
Глобальные изменения климата и региональные палеогеографические шкалы вариаций уровня морей



положение уровней во время LGM



Состояние морей в голоцене (современное)



Каскад морей и парадокс «ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ»

additional sources

+ Higher precipitation in East European Plane (?)

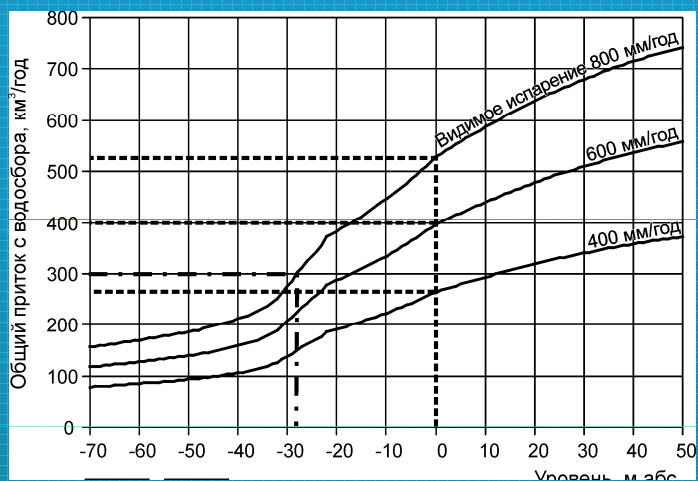
+ 300 km³/year

+ Siberian waters (?)

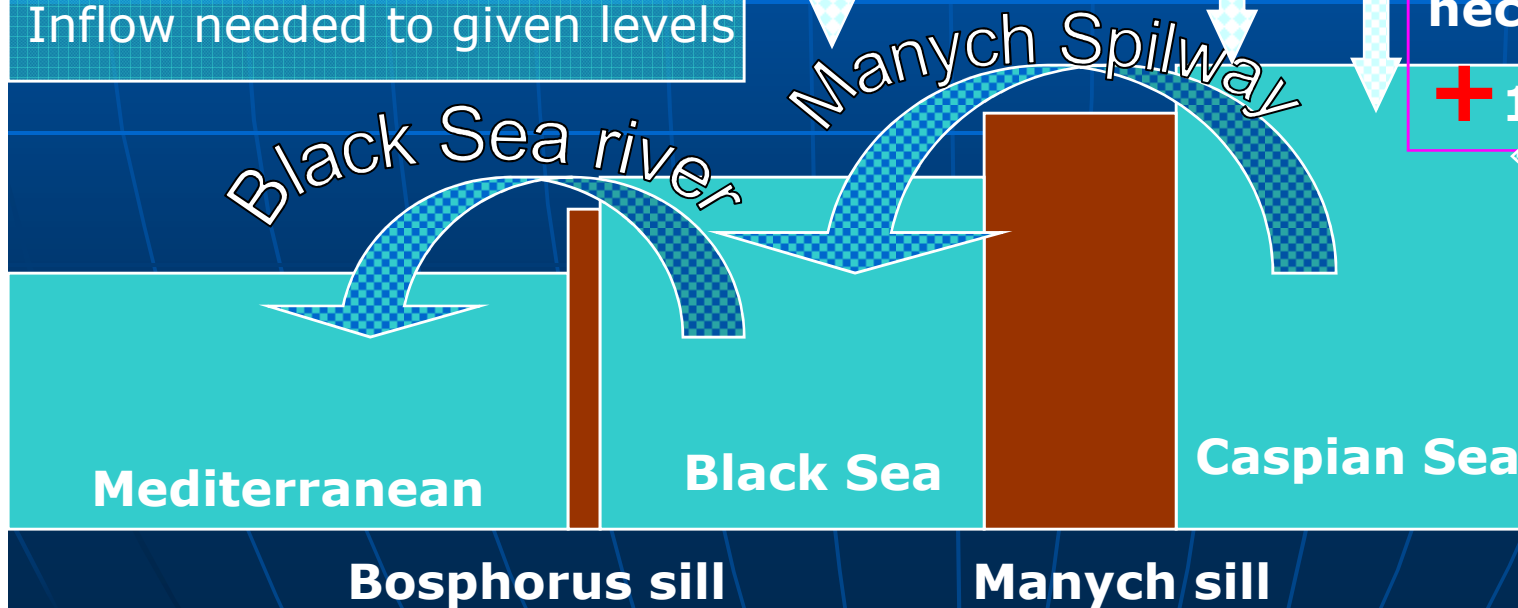
necessary:

+ 1000 km³/year

+ snow-melting waters of Tian Chan (penetration of Indian monsoon) ?



Inflow needed to given levels



Выводы

- Современные МОЦА способны адекватно воспроизводить средний многолетний климатический и гидрологический режим территорий, площадь которых порядка площади волжского водосбора (>1.0 млн. км²).
- Использование полного ансамбля МОЦА не всегда целесообразно – по-видимому, следует отбирать те модели, которые наилучшим образом воспроизводят годовой сток.
- Регрессионные стадии происходили синхронно с планетарными эпохами оледенений.
- Генезис трансгрессий неясен.