

Современные климатические проблемы

Наводнение на Амуре

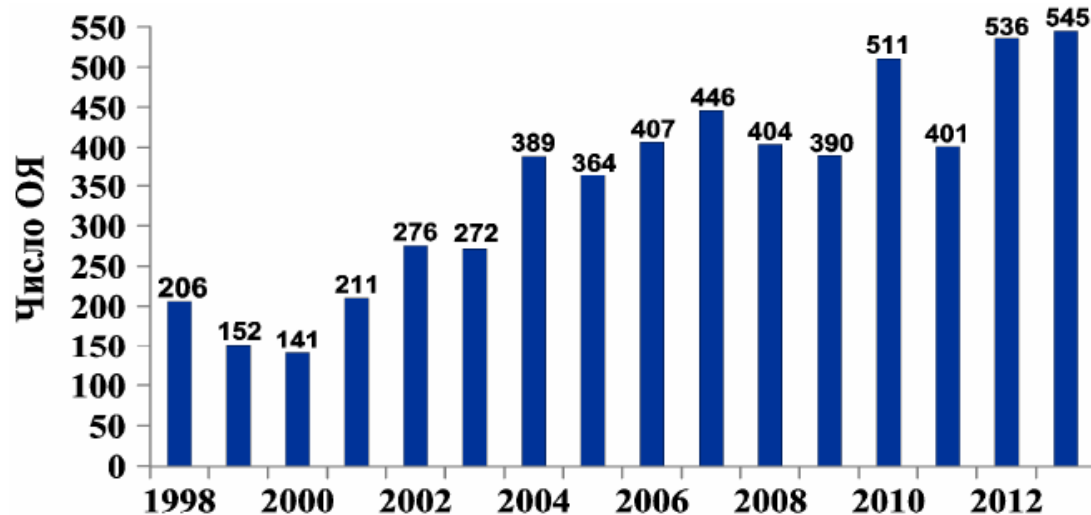
И.И. Мохов

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

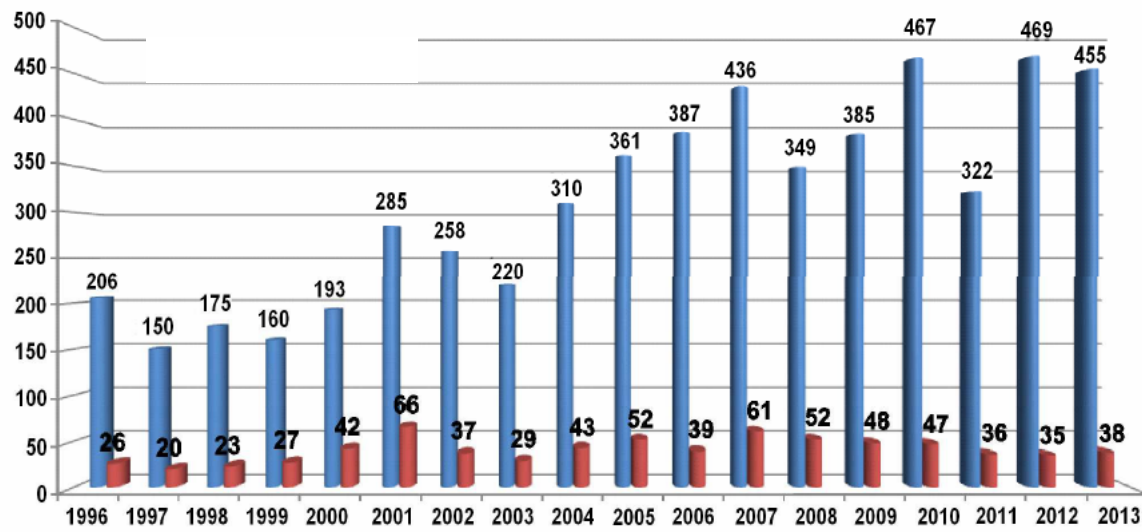
19 сентября 2014 г.

г. Кисловодск

Опасные гидрометеорологические явления в России

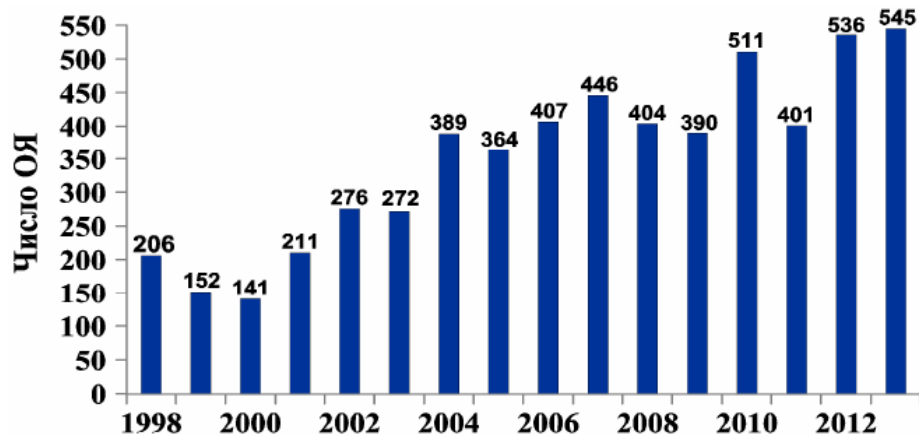


Число метеорологических
опасных явлений (ОЯ)
в России



по данным Росгидромета

Общее число (синий цвет) и число непредусмотренных (красный) гидро-метеорологических метеорологических опасных явлений (ОЯ) в России

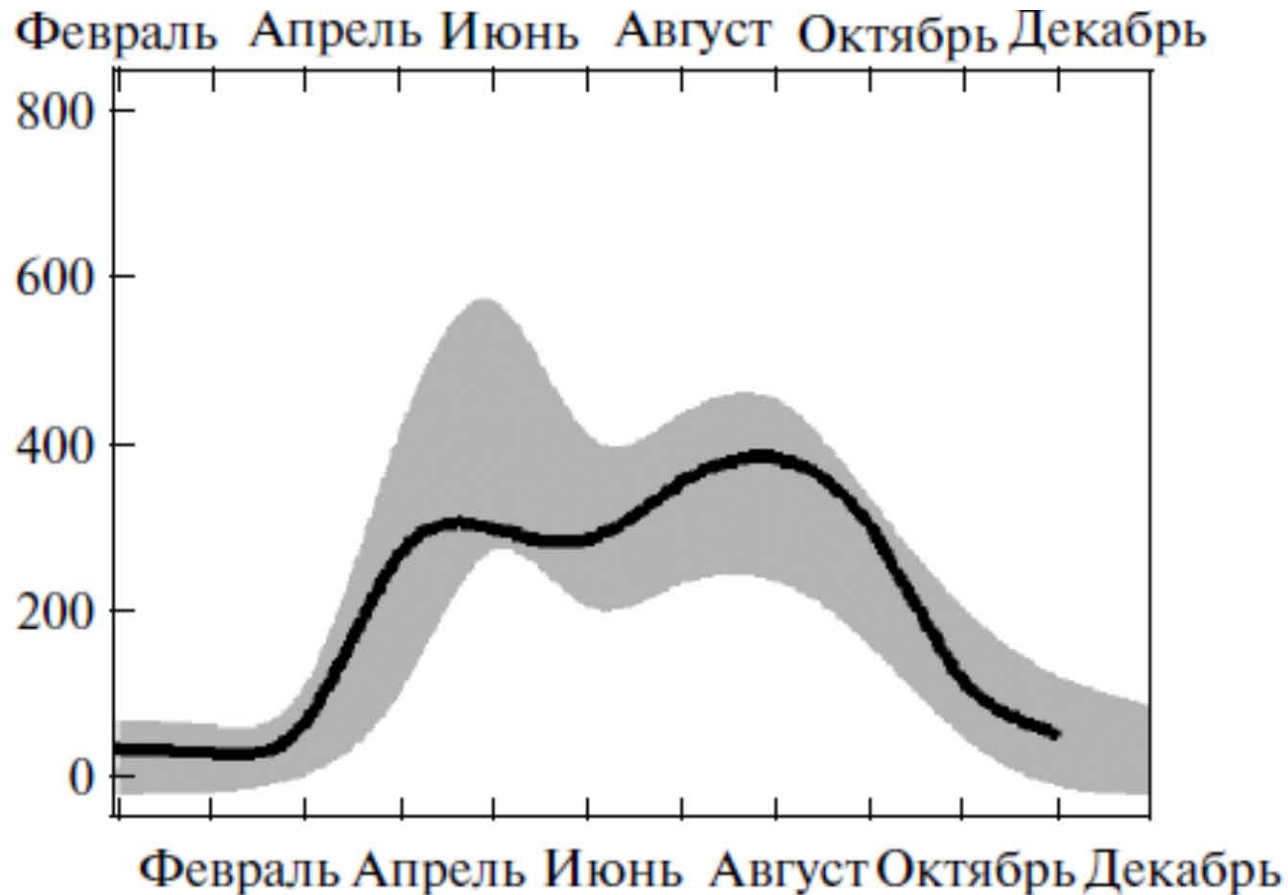


Число метеорологических опасных явлений в России

Годы	Месяцы												Всего за год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1998	19	15	12	12	14	17	28	16	19	19	20	15	206
1999	20	10	9	9	14	10	15	15	16	8	14	12	152
2000	9	2	6	10	15	17	18	17	20	7	8	12	141
2001	12	12	4	5	27	30	30	25	17	14	16	19	211
2002	16	15	17	11	24	27	41	35	28	17	16	29	276
2003	21	17	13	14	16	35	41	36	27	17	18	17	272
2004	23	29	27	21	23	54	49	61	26	20	28	28	389
2005	19	19	49	31	28	52	48	38	21	24	14	21	364
2006	27	20	29	21	39	64	49	56	26	22	30	24	407
2007	39	40	21	9	56	61	56	52	38	25	28	20	445
2008	29	25	18	19	28	47	83	45	27	12	30	41	404
2009	26	30	24	24	31	64	57	42	26	22	16	28	390
2010	39	23	33	28	31	68	73	64	35	16	35	66	511
2011	28	53	23	29	33	39	71	46	23	16	23	17	401
2012	24	14	18	22	53	71	82	89	32	37	28	66	536
2013	47	36	63	23	51	71	61	56	43	38	33	23	545

На российском Дальнем Востоке в последние годы по данным Росгидромета в общем числе опасных метеорологических явлений доля аномалий, связанных с сильными осадками, была почти вдвое больше, чем для России в целом. При этом количество подобных проявлений сильных осадков на Дальнем Востоке было в среднем более, чем в полтора раза больше, чем на юге европейской части России (в том числе на Северном Кавказе); почти вдвое больше, чем в Сибири; почти втрое больше, чем в центре европейской части России; более, чем в 5 раз больше, чем для уральского региона и более, чем в 7 раз больше, чем на северо-западе России.

Годовой ход стока Амура



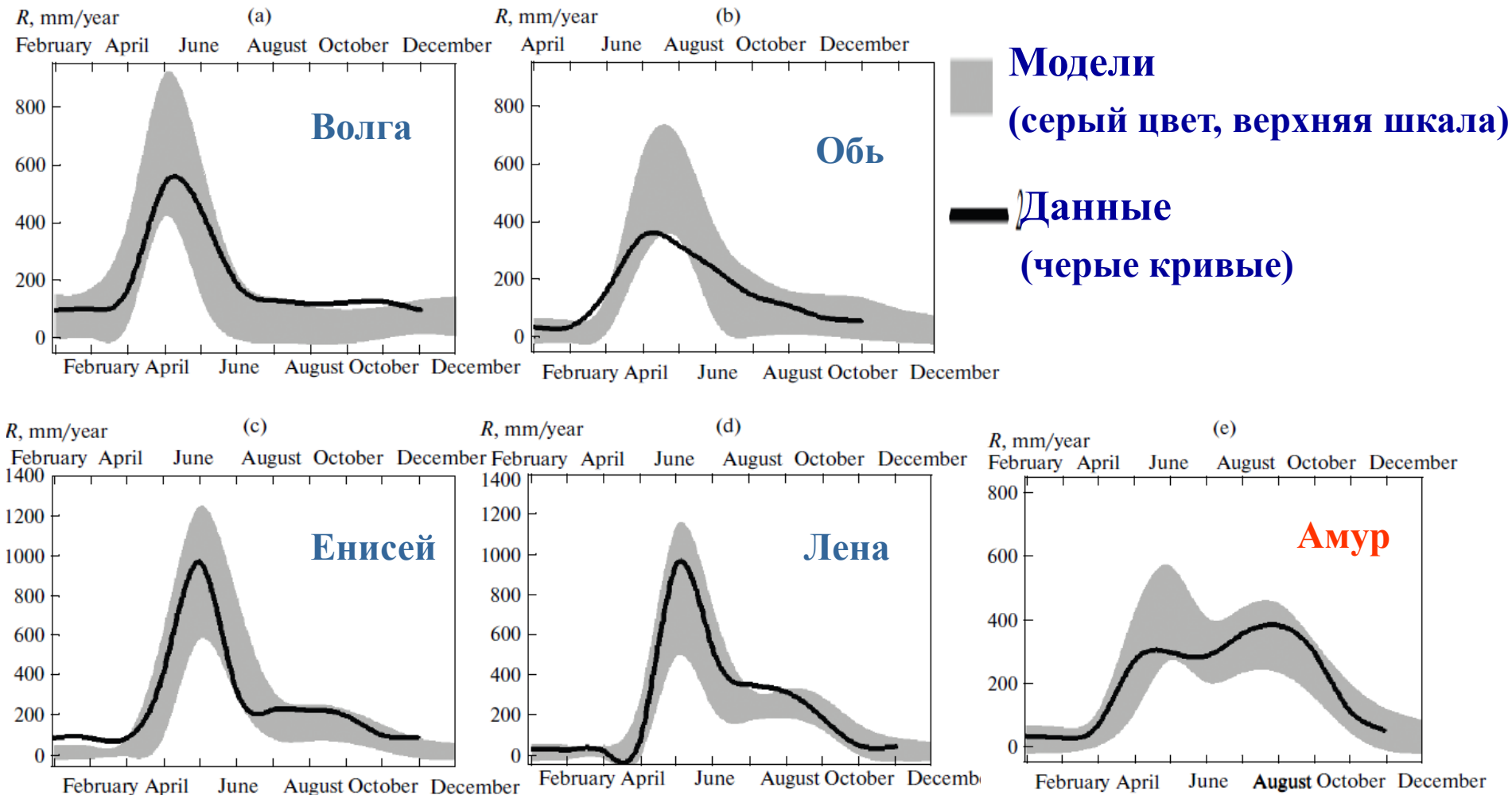
Годовой ход стока Амура (мм/год) по данным наблюдений (черная кривая, верхняя шкала) и по мульти-модельным расчетам СМIP3 (выделено сером цветом, нижняя шкала) и для базового 30-летнего периода (1961-1990 гг.).

(Мохов, Хон, 2009)

Речной сток

годовой ход

СМIP мультимодельные расчеты (XX век)



(Khon, Mokhov, 2012),

Осадки

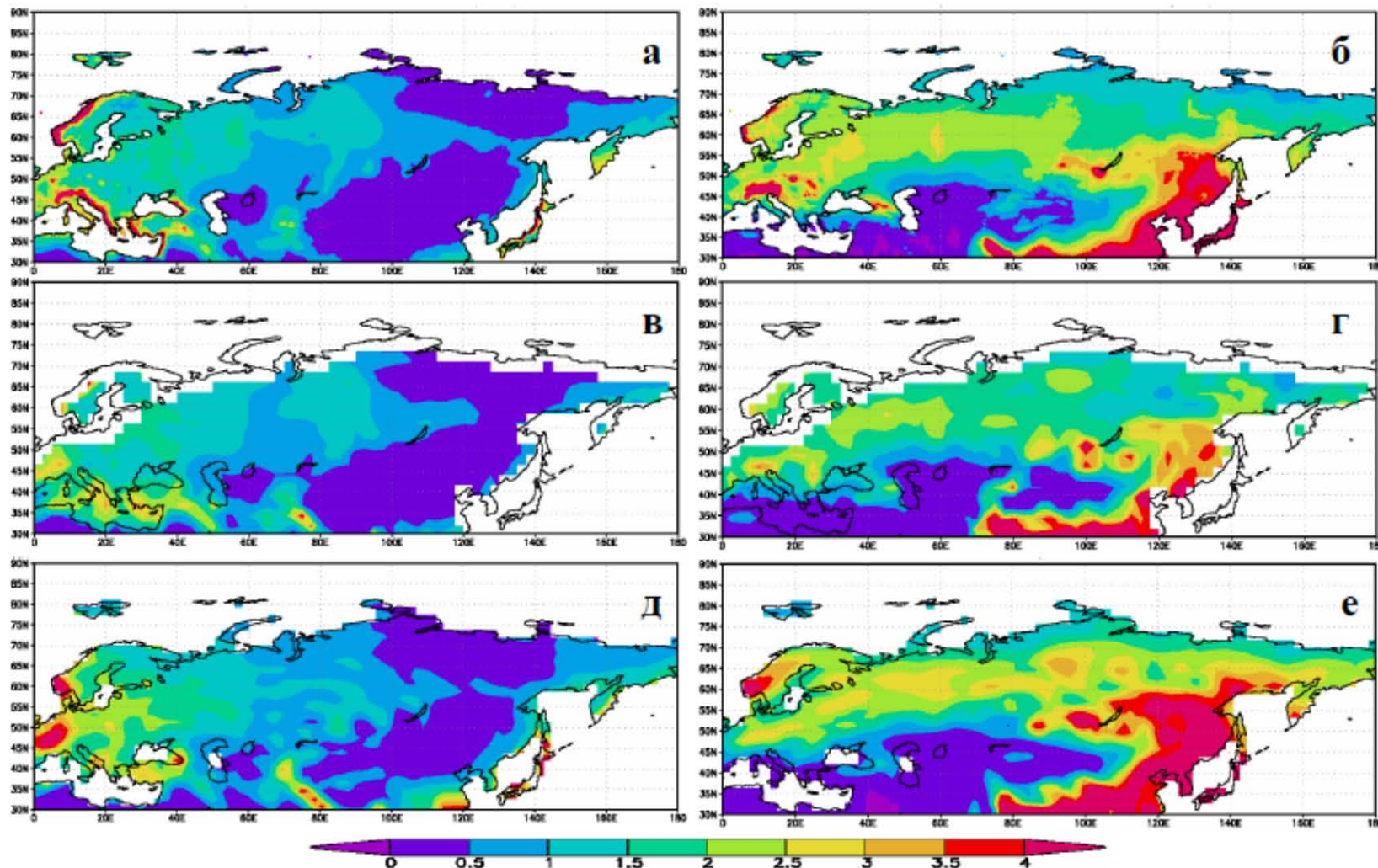
зима

лето

наблюдения

реанализ

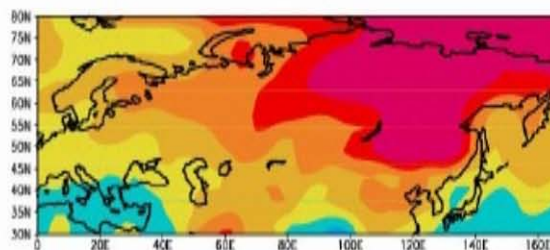
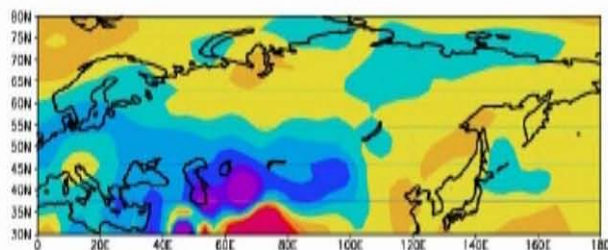
расчеты



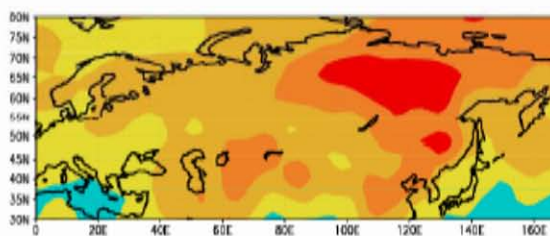
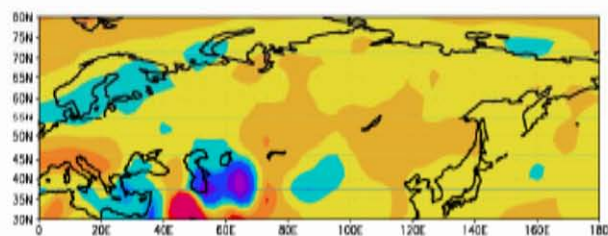
Среднее количество осадков [мм/сут] **летом (справа)** и **зимой (слева)** в регионах Северной Евразии по данным наблюдений (а, б), реанализа (в, г) и модельным расчетам (д, е) для базового периода 1961-1990 гг.

(Мохов и др., 2007)

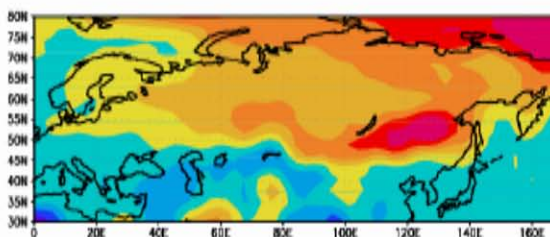
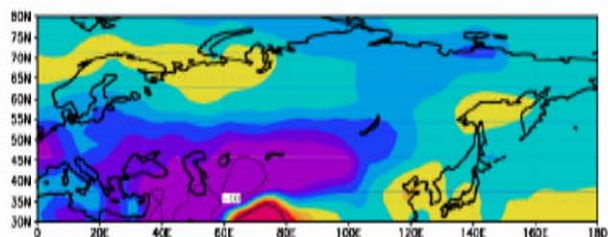
Модельные оценки изменений (%) осадков над Евразией к концу 21 века: **летних (слева)** и **зимних (справа)**



КОЛИЧЕСТВО



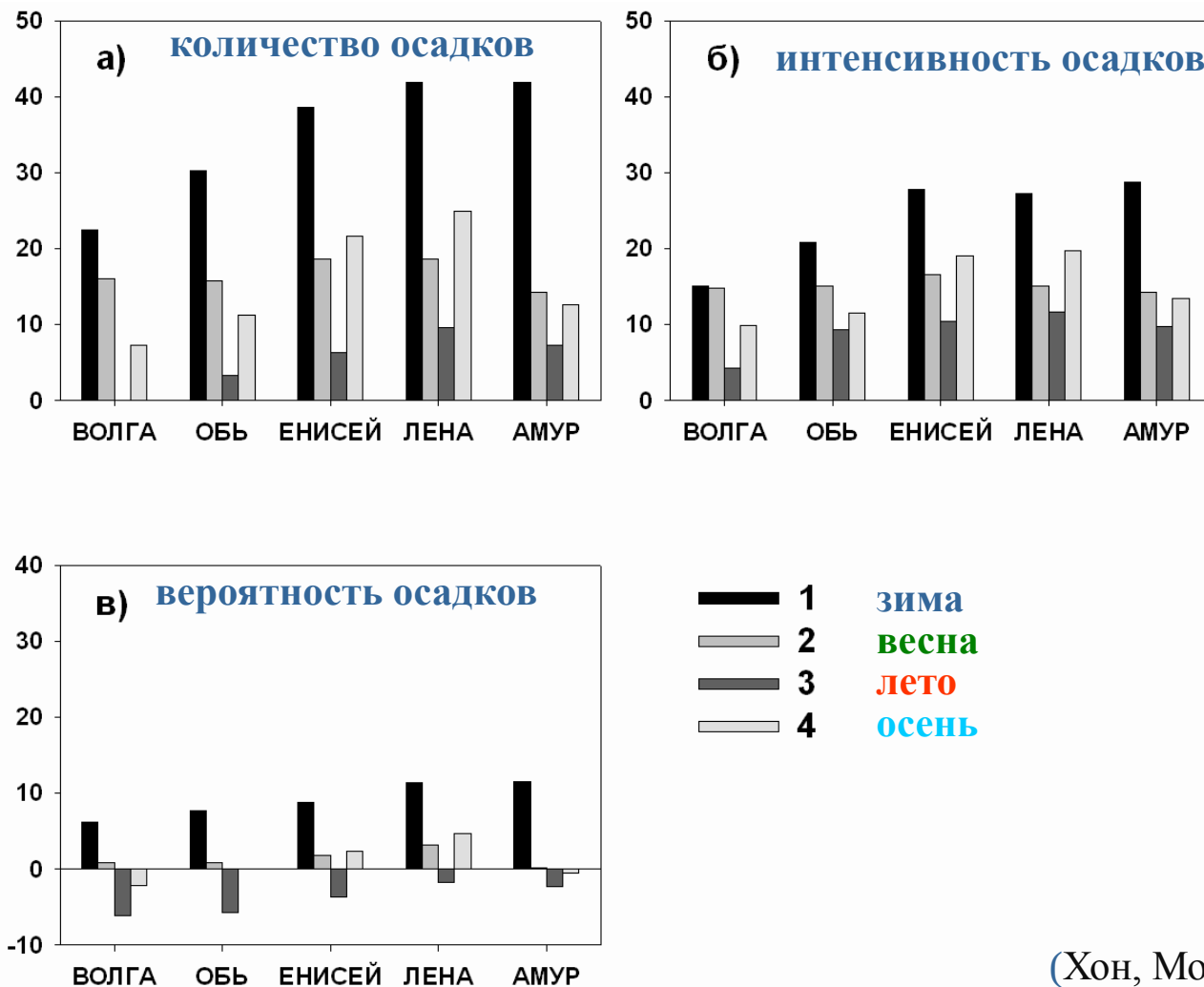
ИНТЕНСИВНОСТЬ



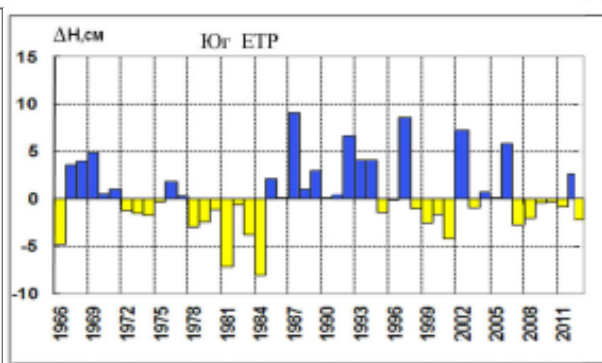
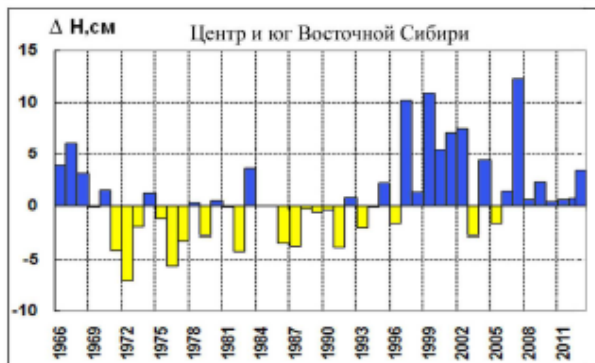
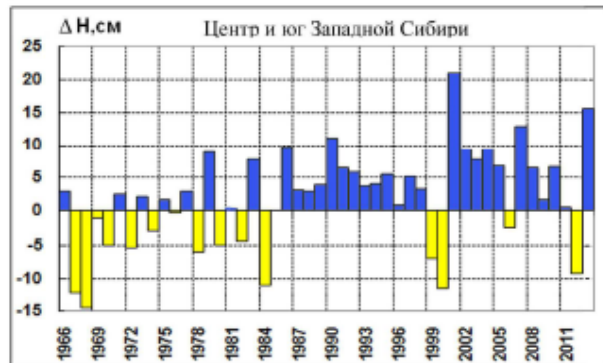
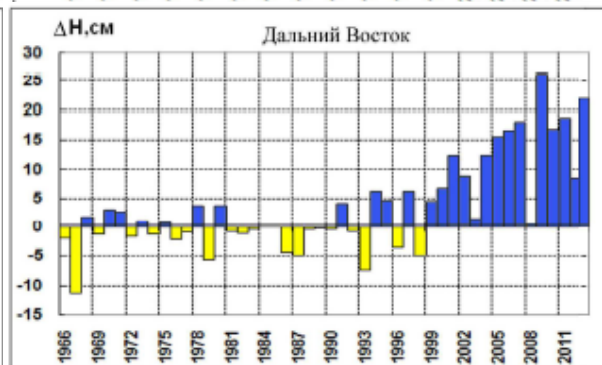
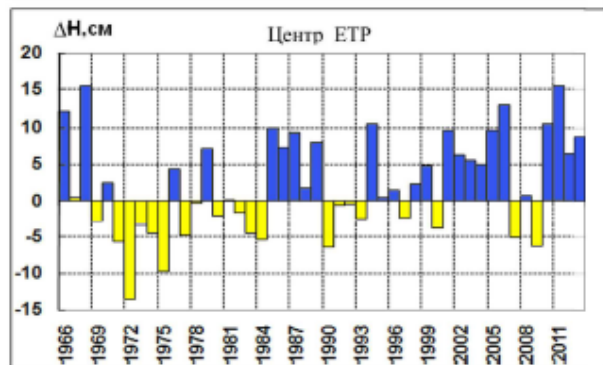
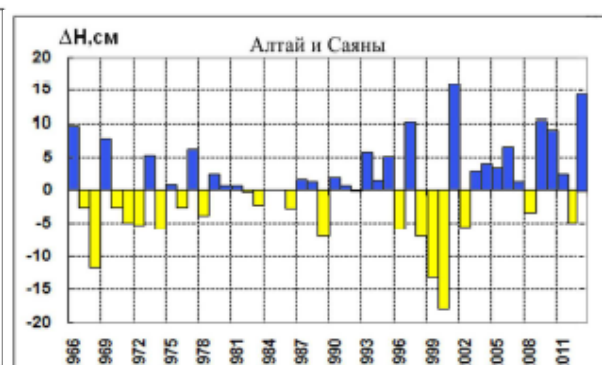
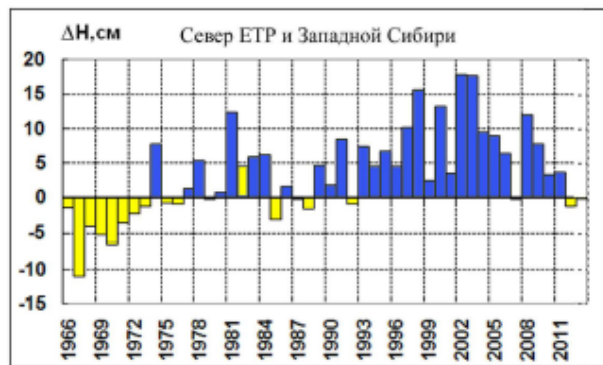
ВЕРОЯТНОСТЬ

(Мохов, Семенов, Хон, 2002)

Изменения (%) сезонных характеристик осадков в 2081-2100 гг. (относительно 1981-2000 гг.) по мультимодельным расчетам (CMIP) при умеренном антропогенном сценарии для 21 века в различных речных бассейнах Северной Евразии: а) общее количество, б) интенсивность, в) вероятность (1 – зима, 2 – весна, 3 – лето, 4 – осень).

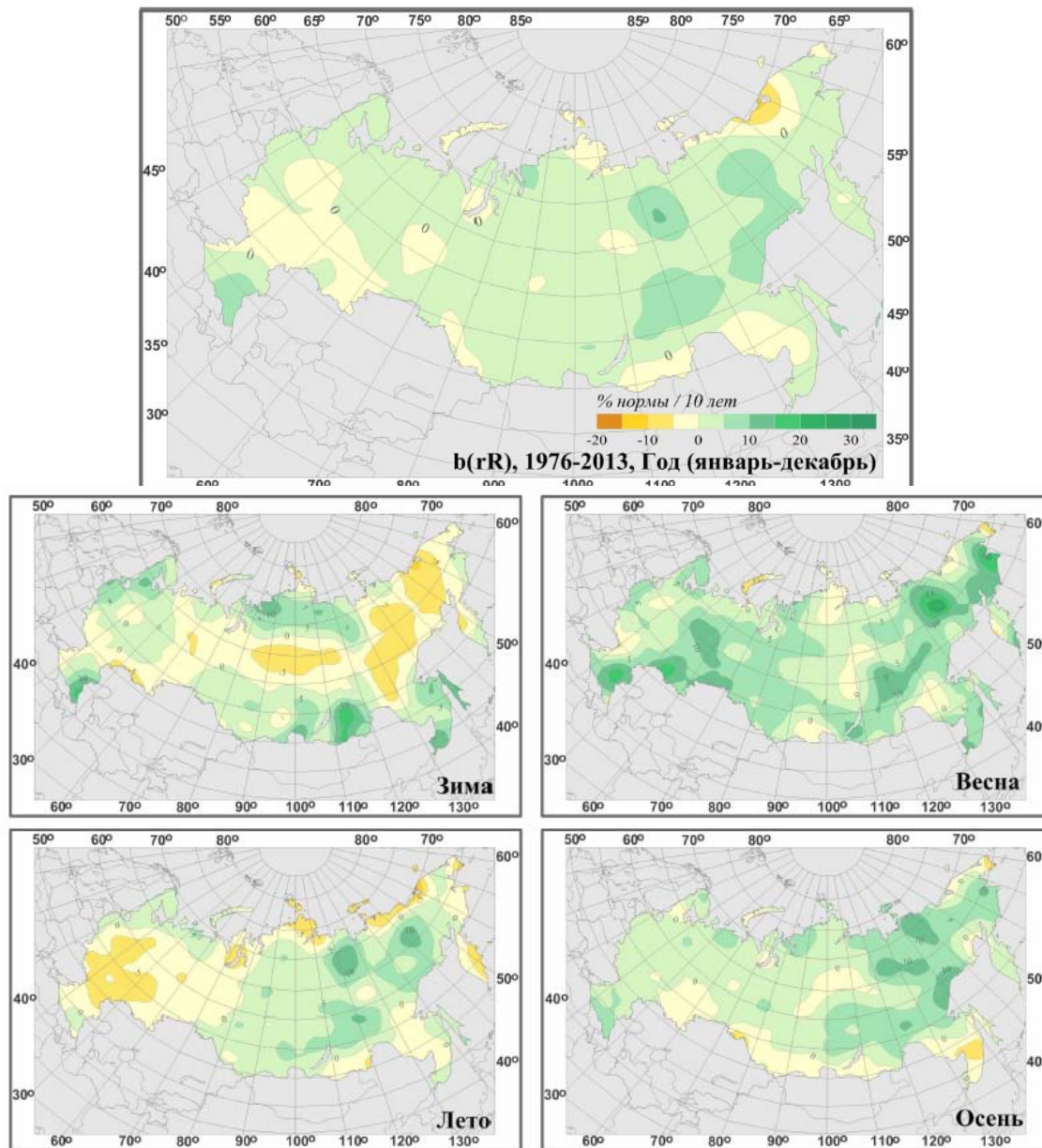


(Хон, Мохов, 2012)



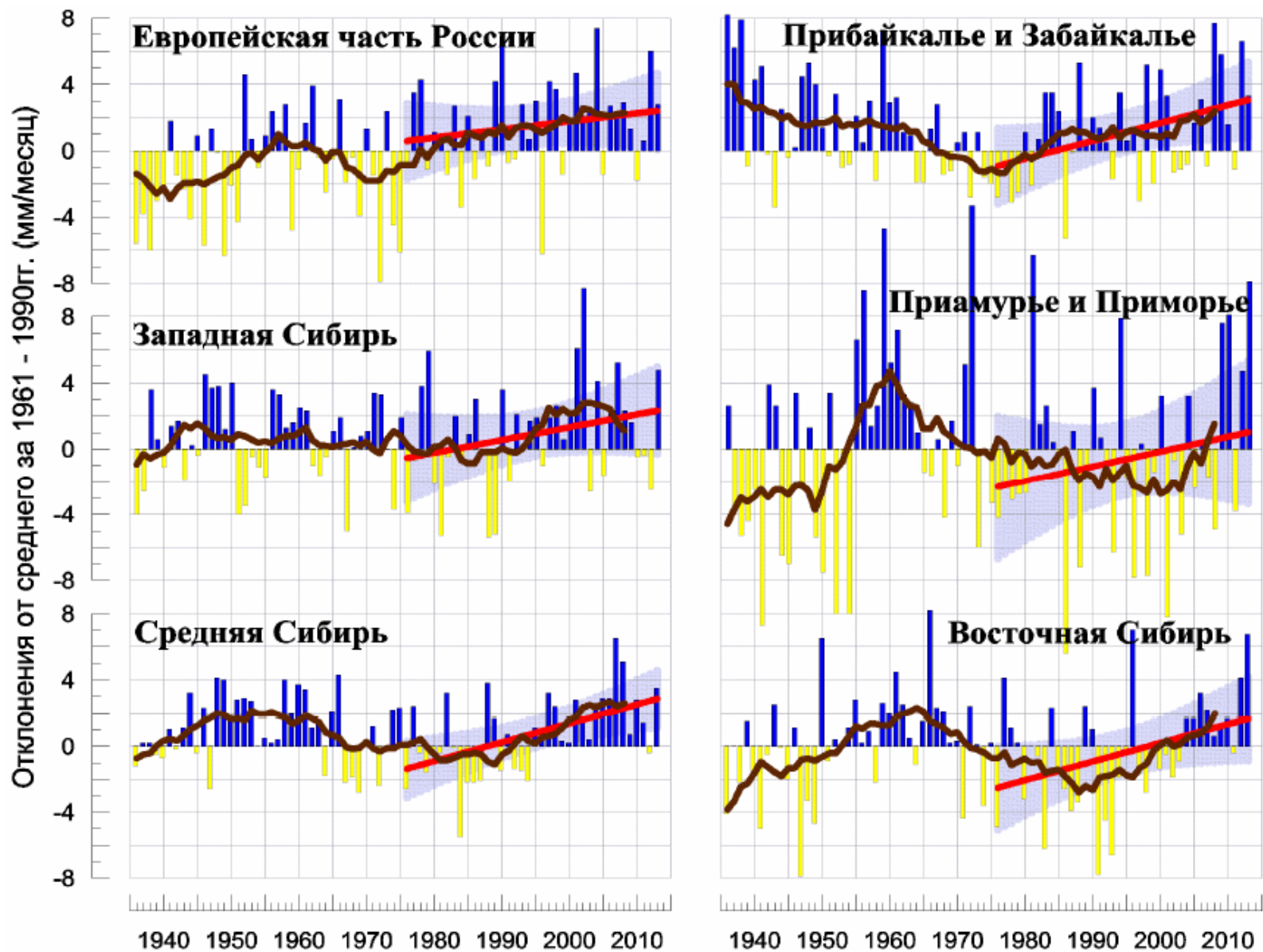
Аномалии максимальной за зимний период высоты снежного покрова, осредненные по территории квазиоднородных климатических районов РФ, 1966-2013гг. Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего за 1961-1990 гг.

по данным Росгидромета



Пространственные распределения локальных коэффициентов
линейного тренда годовых и сезонных сумм атмосферных осадков за 1976-2013 гг.
на территории РФ (% от нормы за 10 лет).

по данным Росгидромета



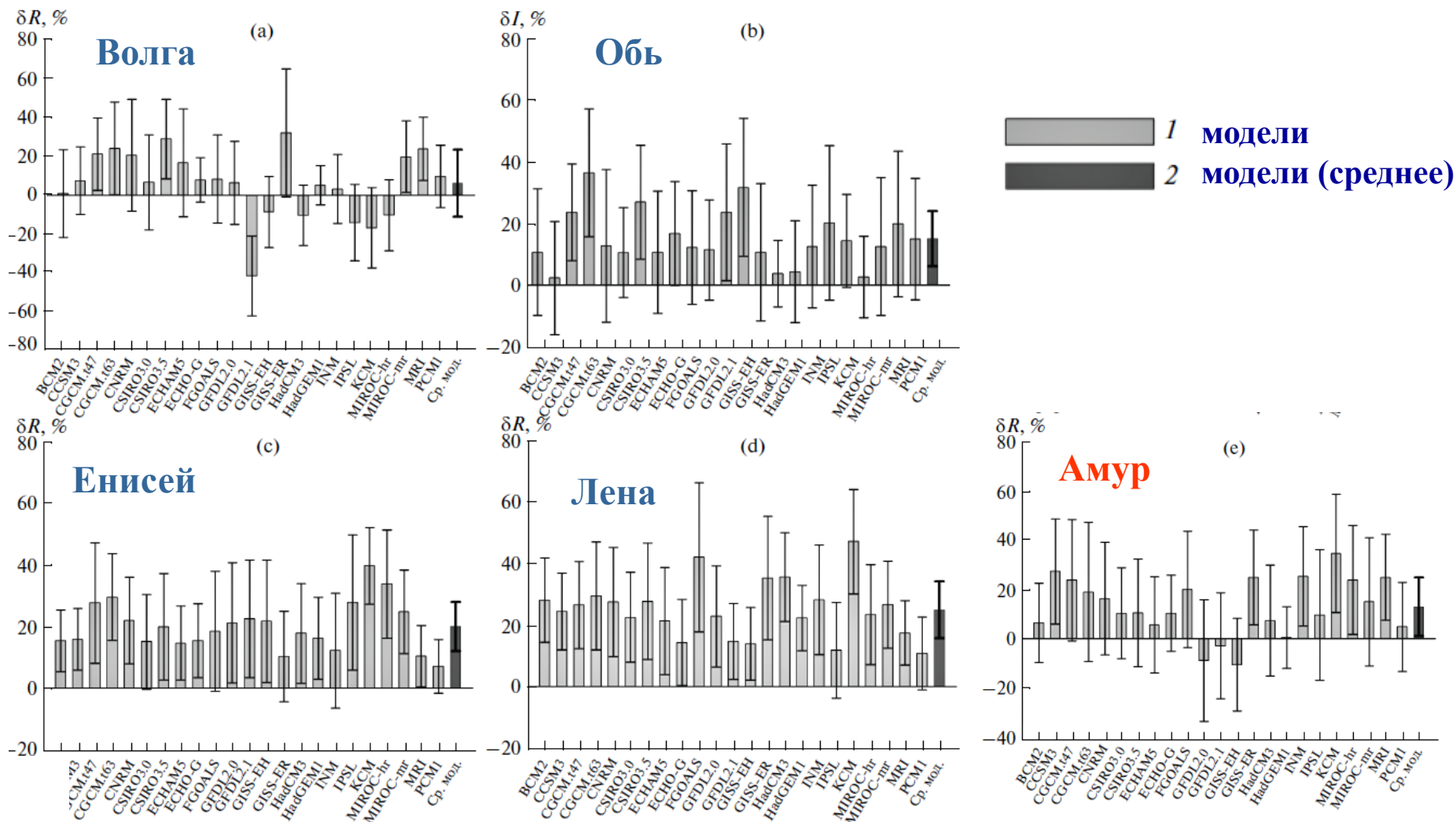
Осредненные за год и по территории регионов РФ аномалии месячных сумм осадков (мм/месяц) за 1936-2013 гг. Сглаженная кривая соответствует 11-летнему скользящему осреднению. Линейный тренд показан за 1976-2013 гг. с 95%-й доверительной полосой.

по данным Росгидромета

Изменения стока рек

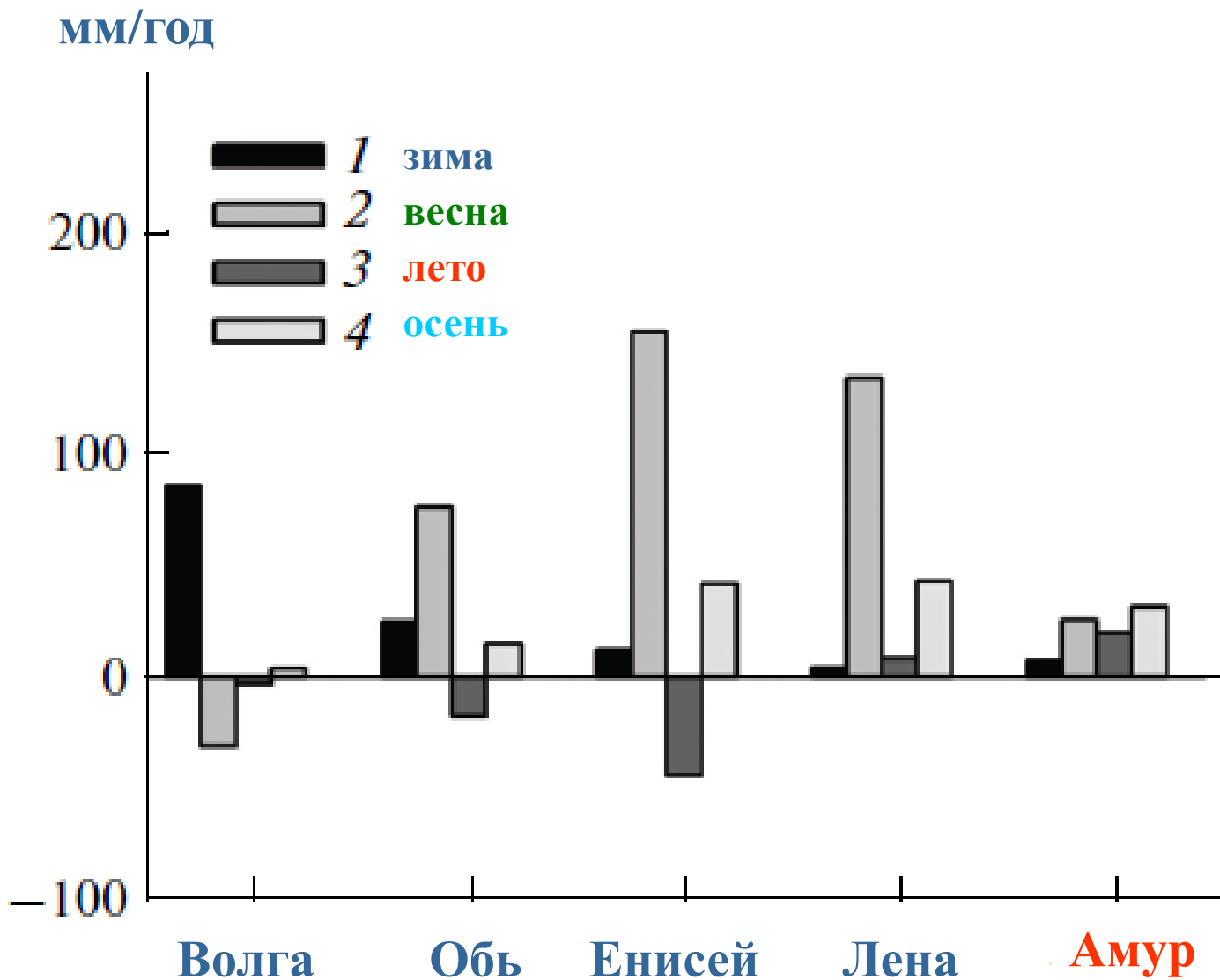
CMIP3 мультимодельные расчеты

XXI век (SRES-A1B)



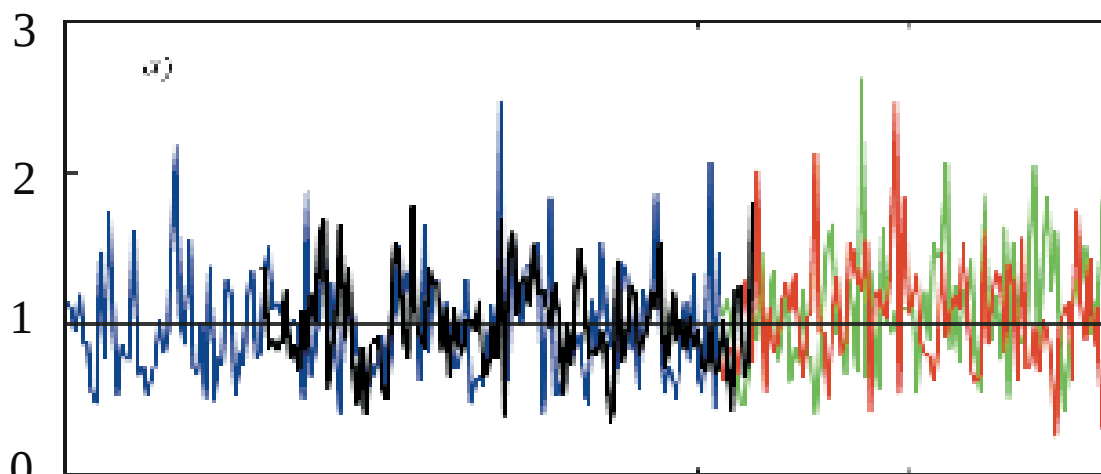
Сезонные изменения стока рек в XXI веке (SRES-A1B)

CMIP3 мультимодельные расчеты

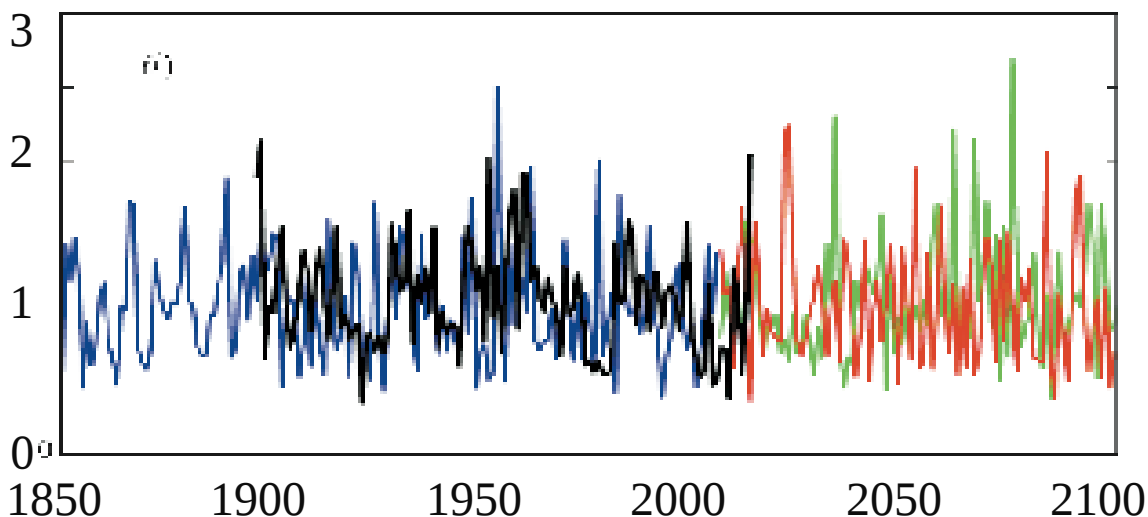


Межгодовая изменчивость стока Амура

август



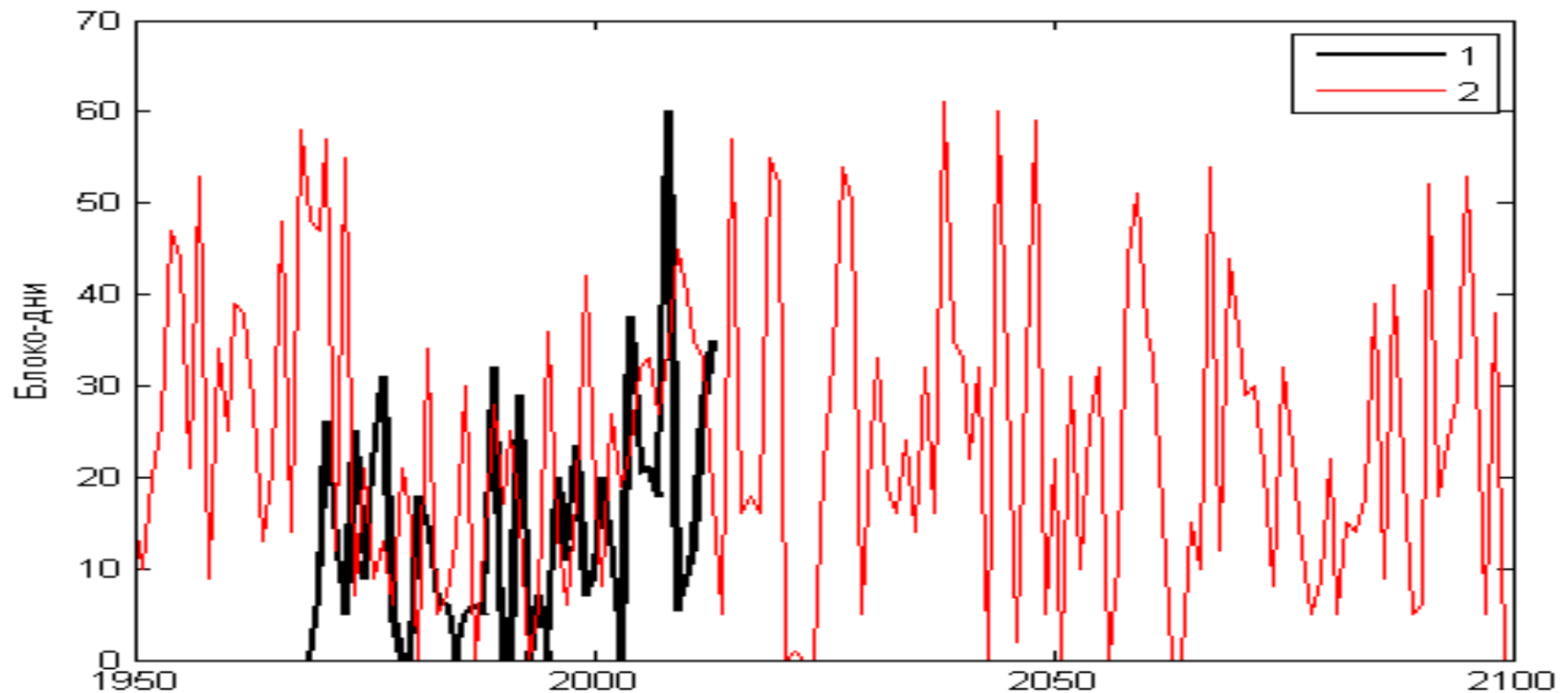
сентябрь



Межгодовая изменчивость нормированного стока Амура по модельным расчетам (MPI-ESM-MR) при сценариях RCP 4.5 (зеленая кривая) и RCP 8.5 (красная кривая) для 21 века в сопоставлении с данными наблюдений (черная кривая) и расчетами для 1850-2005 гг. (синяя кривая) при сценарии “historical”.

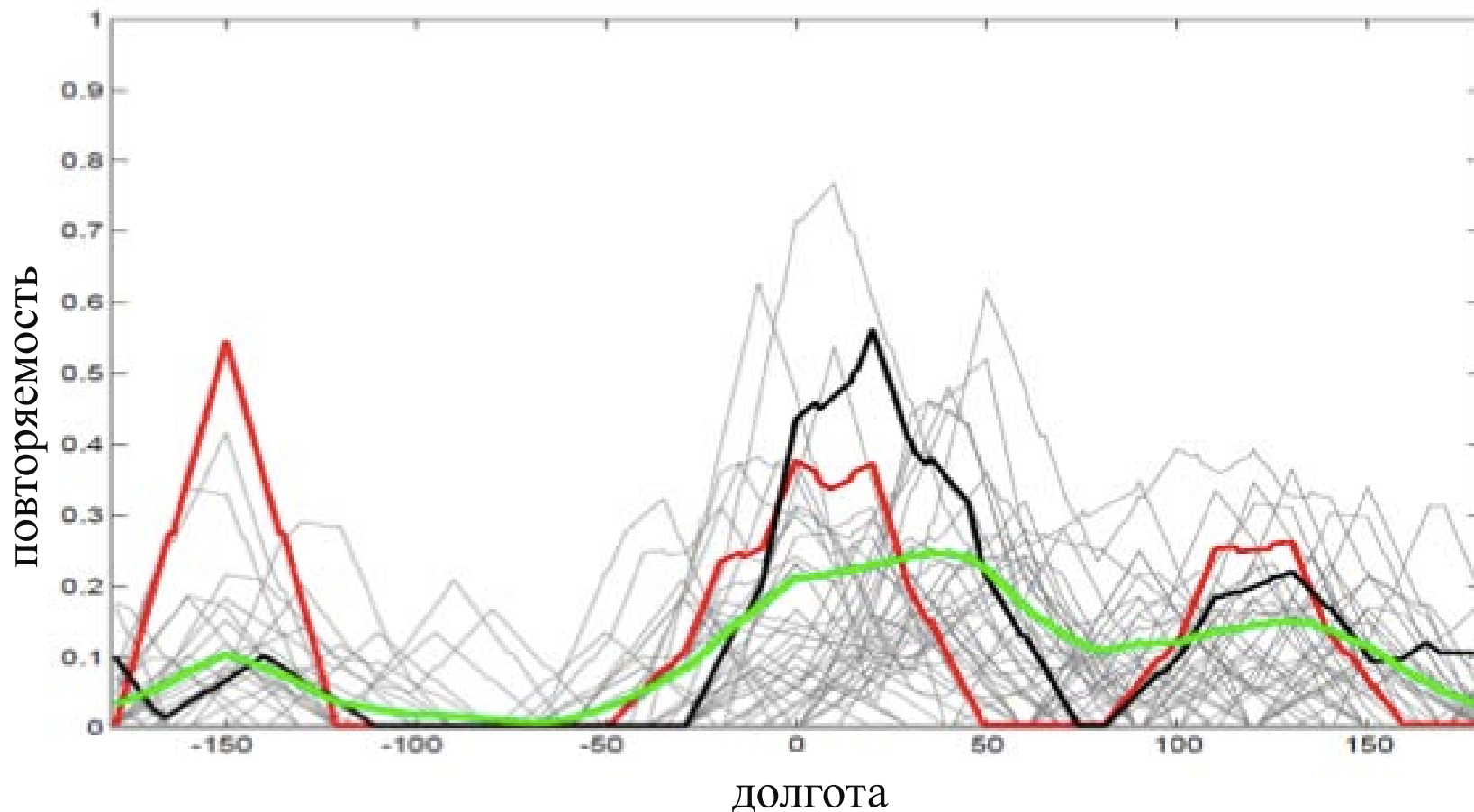
(Мохов, Хон, Тимажев, Чернокульский, Семенов, 2014)

**Межгодовые вариации
общей продолжительности летнего блокирования
в средних широтах Северного полушария
в тихоокеанском секторе (130E-170W)
по модельным расчетам (MPI-ESM)
при антропогенном сценарии RCP8.5 для XXI века
в сопоставлении с вариациями, полученными по данным
реанализа для периода 1968-2013 гг.**



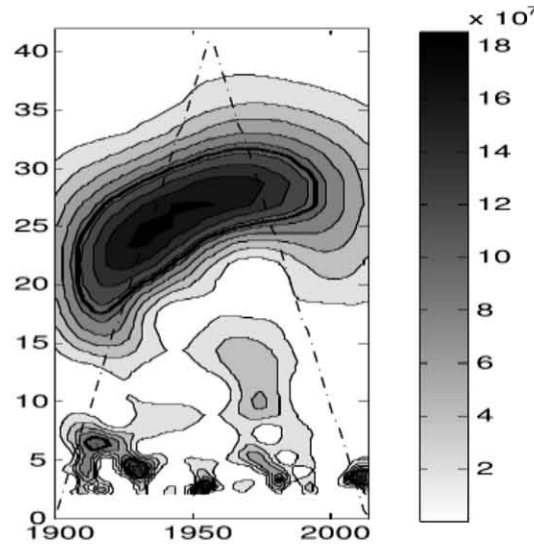
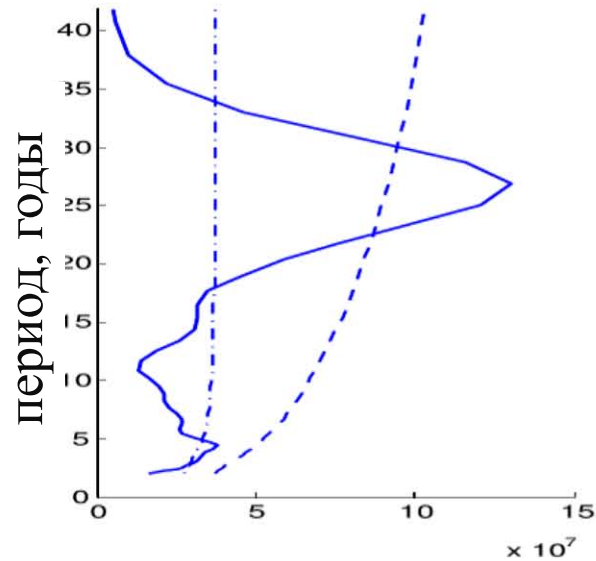
(Мохов и др., 2014)

Меридиональные распределения повторяемости атмосферных блокирований в Северном полушарии для разных лет 1969-2013 гг.



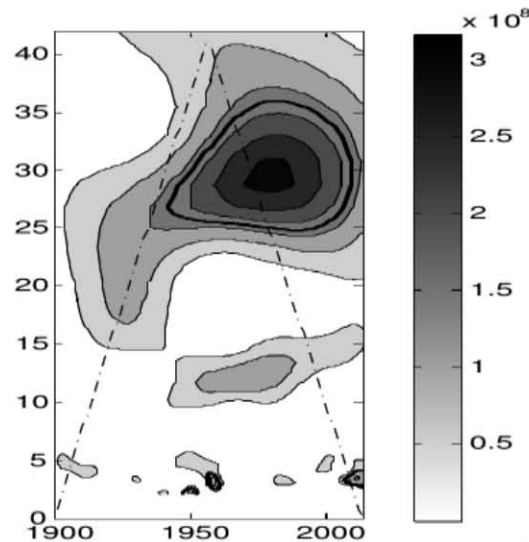
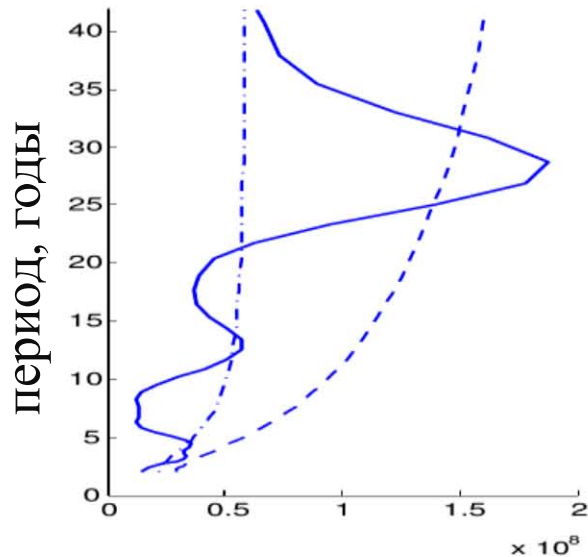
Выделены распределения для лета 2013 г. (красным цветом) и лета 2010 г. (черным цветом), зеленым цветом отмечено среднее распределение для всех лет. (Мохов и др., 2014)

Интегральные и локальные вейвлет-спектры для стока Амура



август

Сток Амура



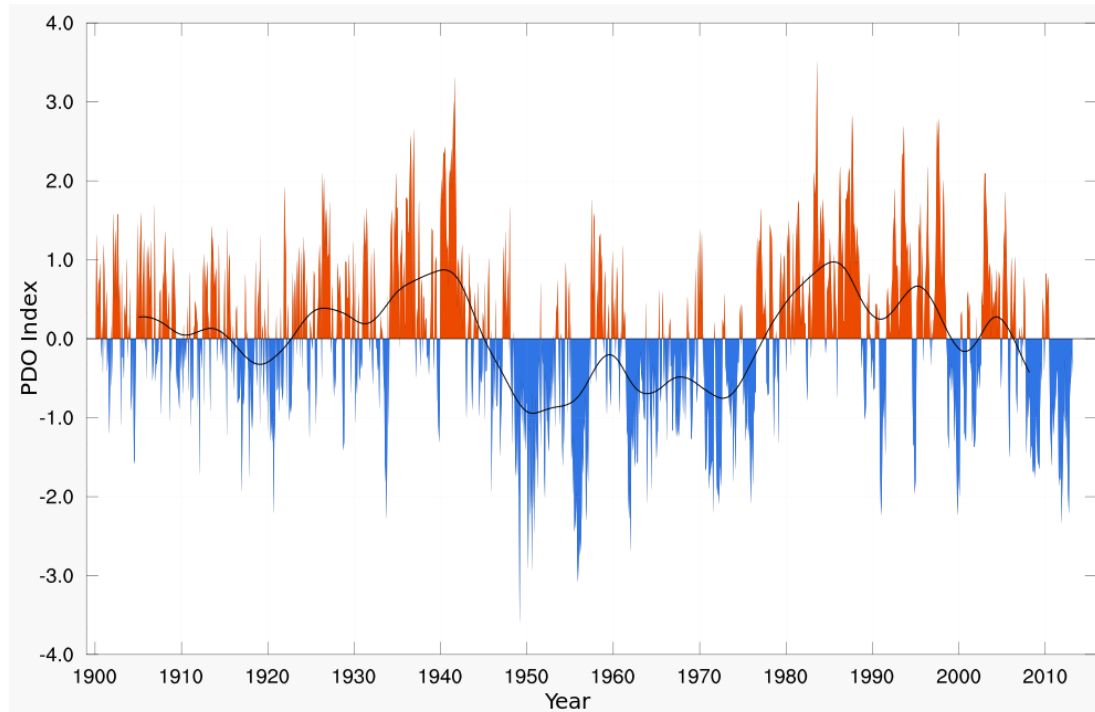
[м³/с] 1900-2013 гг.

сентябрь

(б)

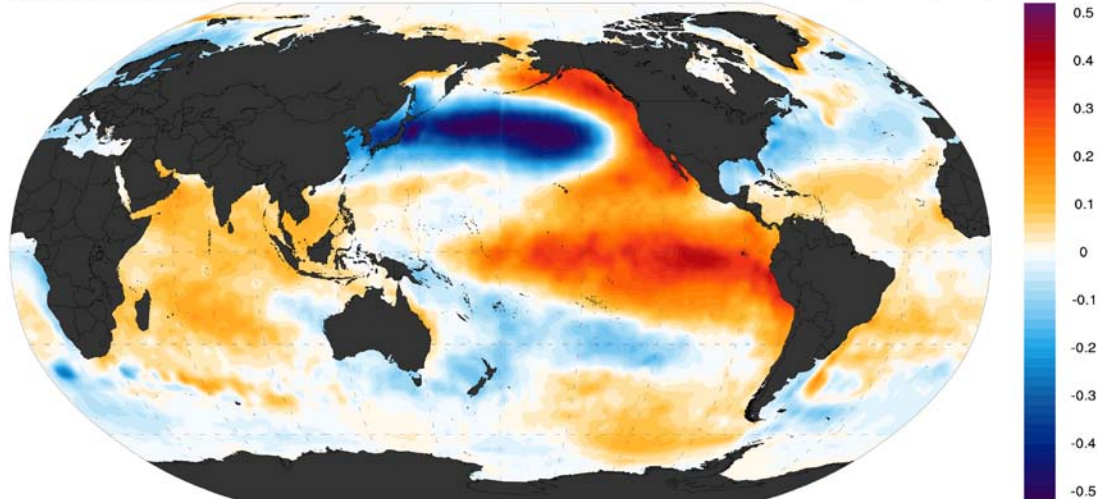
(Мохов и др., 2014)

Тихоокеанская десятилетняя осцилляция



Pacific Decadal Oscillation

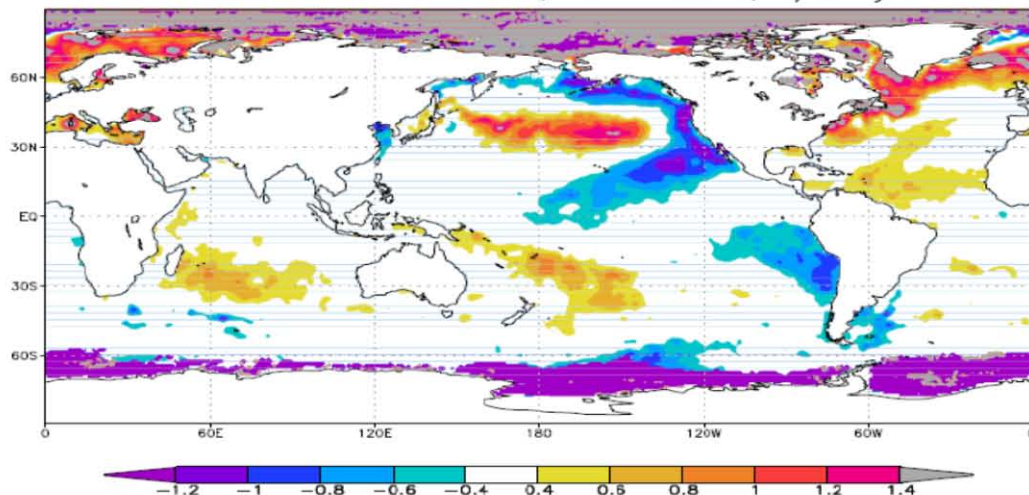
Temperature ($^{\circ}\text{C sd}^{-1}$)



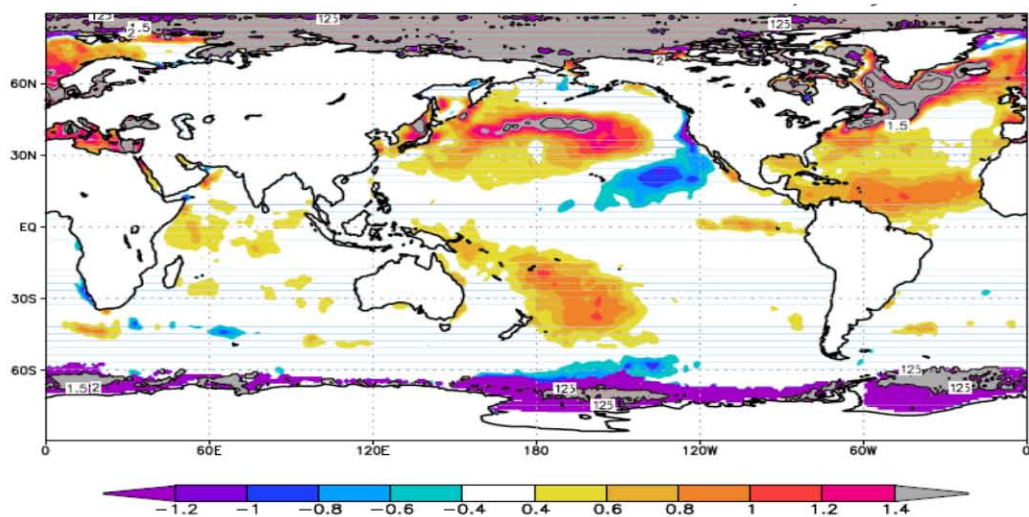
Изменения (общий тренд – в °C) летних значений ТПО:

(а) для последнего 20-летия (1994-2013 гг.),

(б) для последнего 30-летия (1984-2013 гг.).



(а)

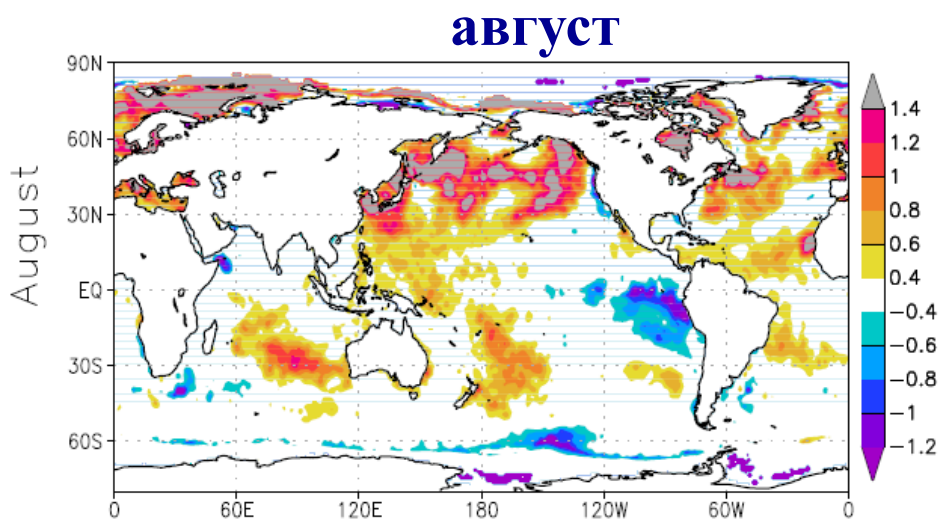
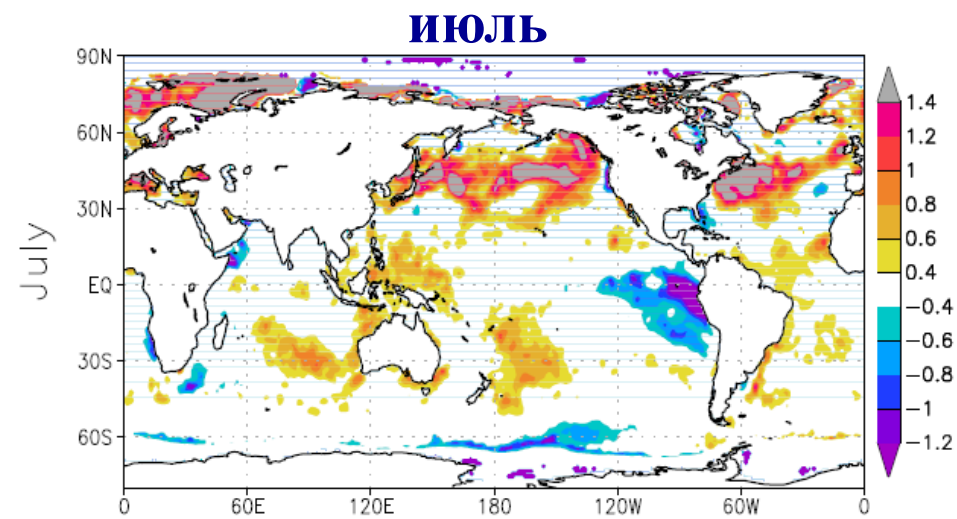
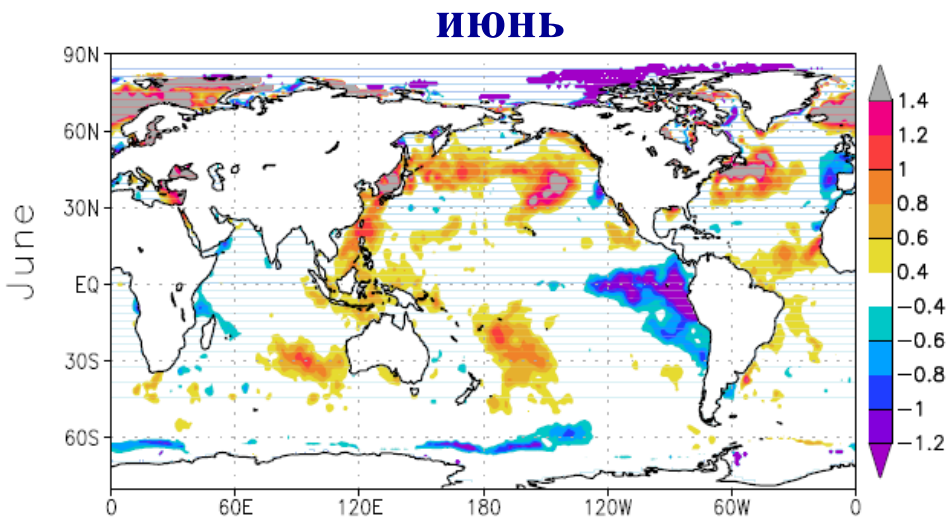


(б)

(Мохов и др., 2014)

Аномалии температуры поверхности океана летом 2013 г.

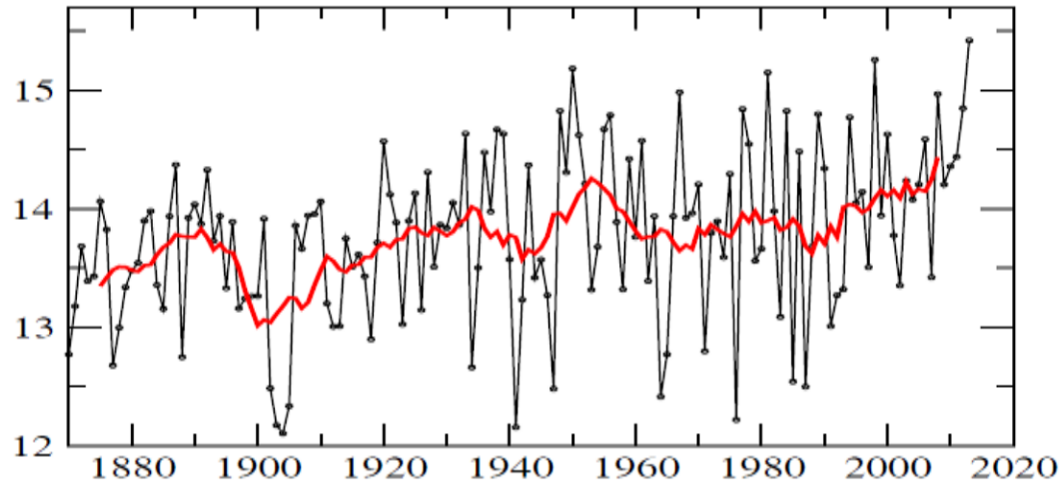
HadISST1 SST: 2013 anomaly (relative 1971–2000)



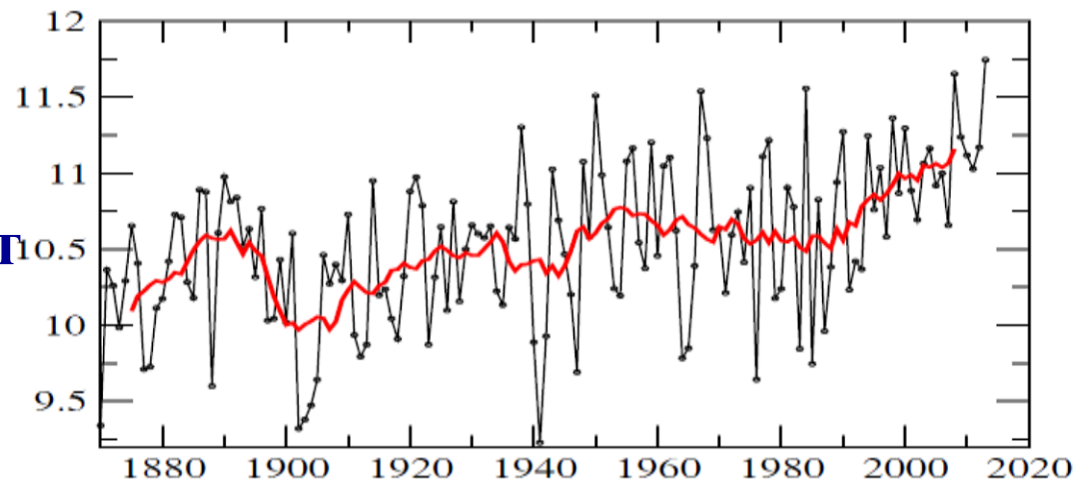
(Мохов и др., 2014)

Межгодовые вариации ТПО в регионе (150-170° в.д, 40-55° с.ш.) в западной части Тихого океана

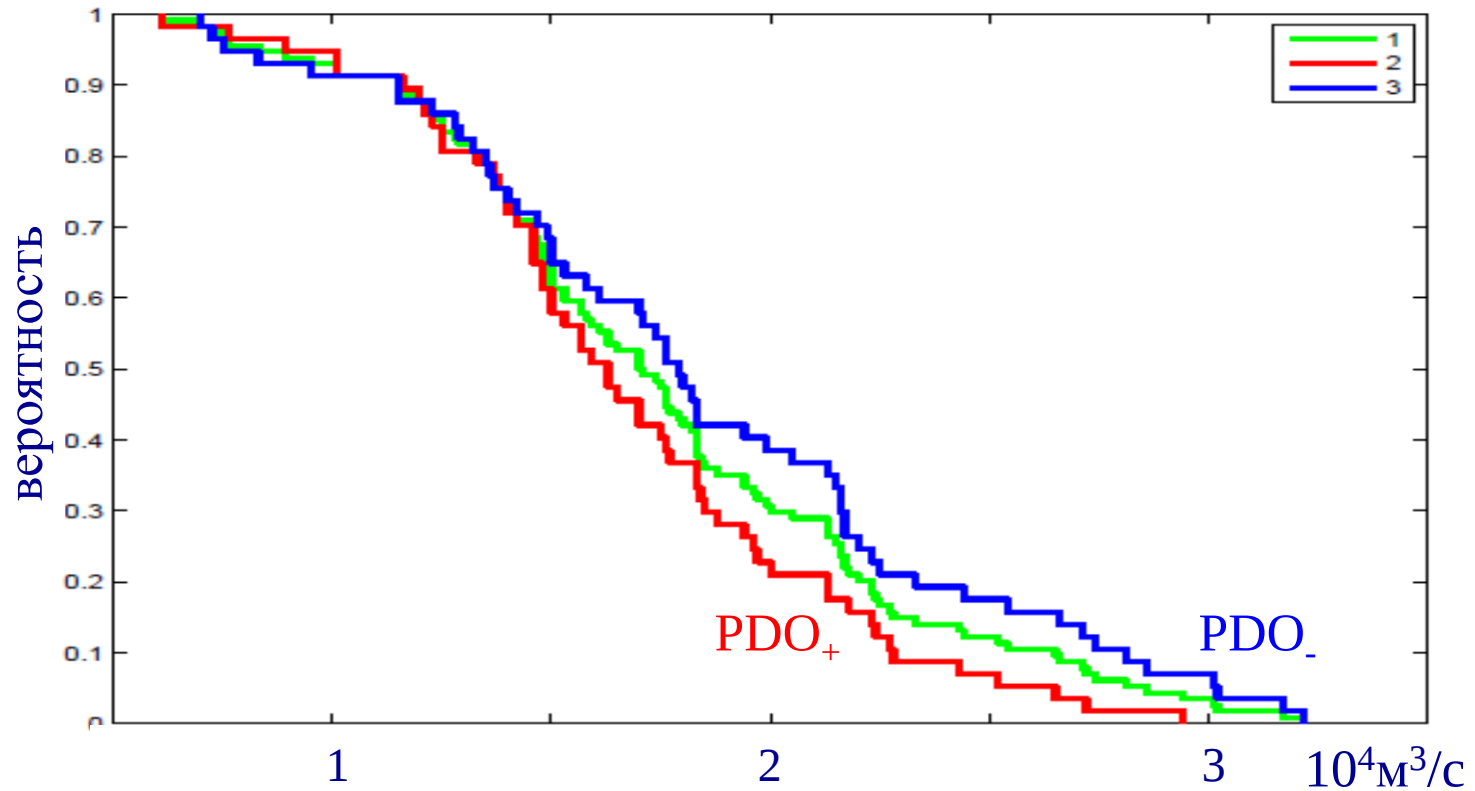
август



лето
июнь--август

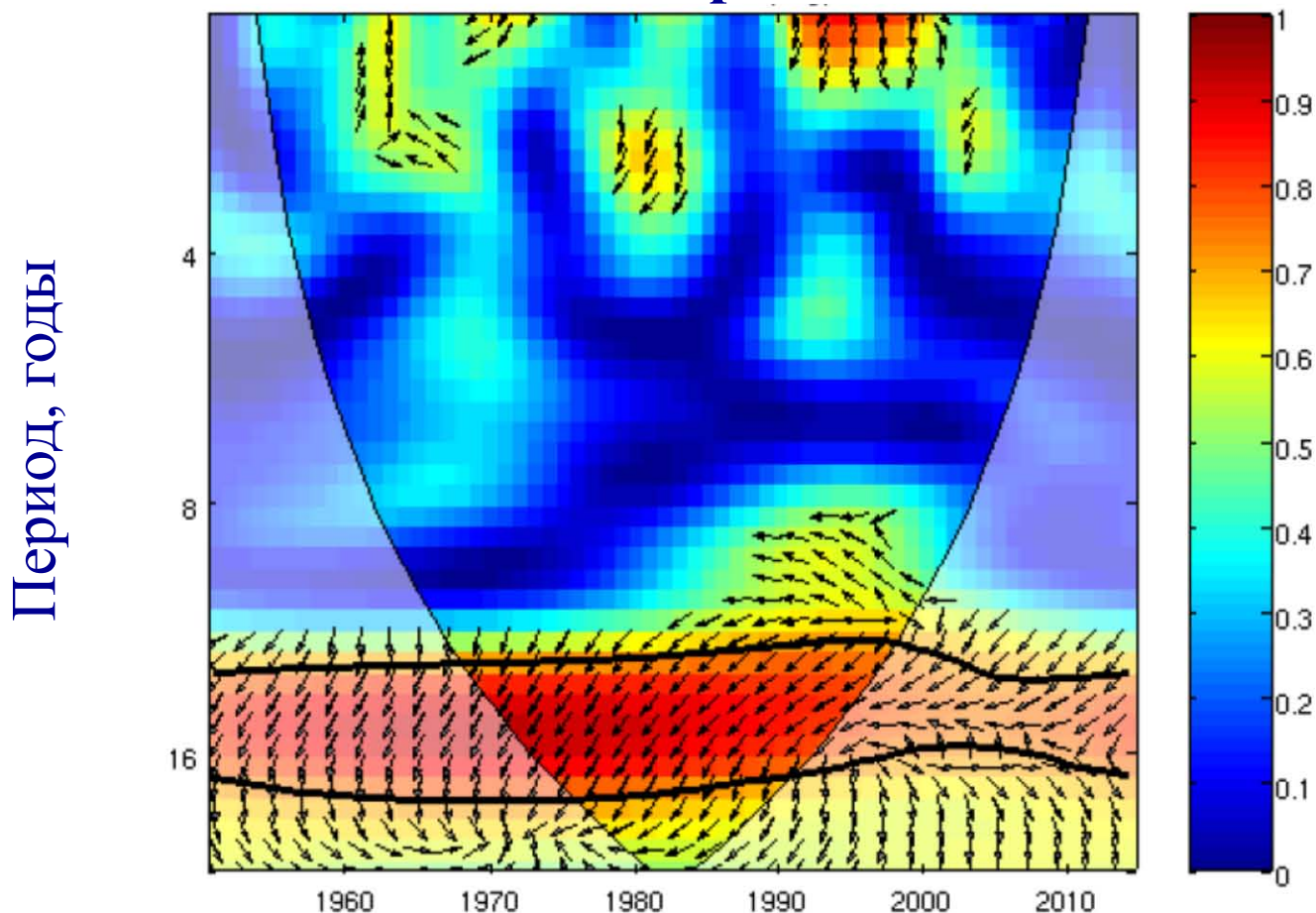


Вероятность превышения стока Амура в августе
различных значений:
по данным для всего периода 1900-2013 гг. (1),
для положительной фазы ТДО (2),
отрицательной фазы (3) ТДО.



(Мохов и др., 2014)

Вейвлет-когерентность стока Амура в августе с летним западно-тихоокеанским (WP) индексом по данным для периода 1950-2013 гг.



Жирные линии ограничивают области с вейвлет-когерентностью отличной от нуля на уровне значимости 0.05. Отмечены также границы краевых эффектов. Стрелки характеризуют сдвиг фаз (направление налево означает противо-фазность).

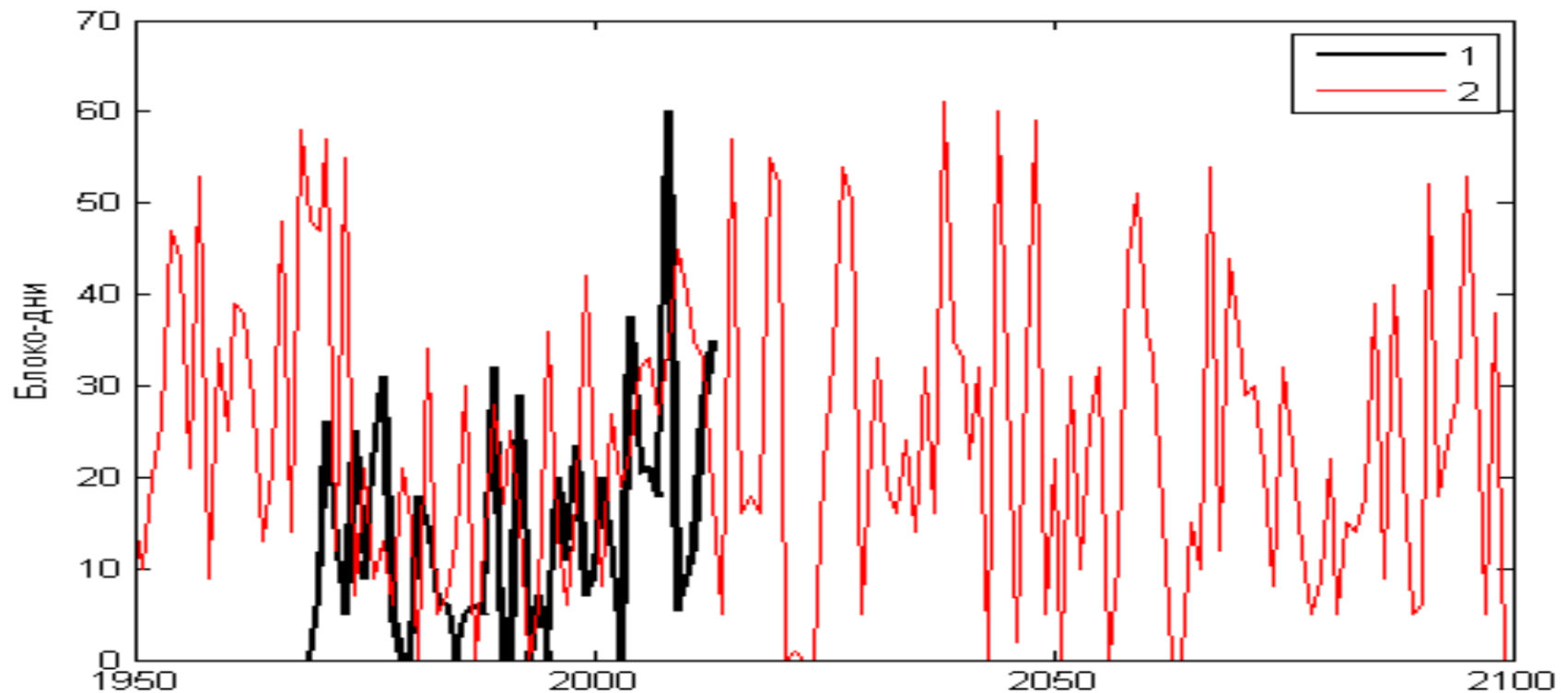
(Мохов и др., 2014)

Относительные изменения (относительно XX века) характеристик летних блокирований в атмосфере Северного полушария RCP сценарии для XXI века CMIP5 (IPSL-CM5B)

Лето	Северная Америка - восточная часть Тихого океана	Евро- Атлантический сектор	Азия - западная часть Тихого океана	Северное полушарие
Число блоко-дней	180W-60W	60W-60E	60E-180E	СП
XXI(RCP 4.5) / XX	0.92	1.07	1.07	1.05
XXI(RCP 8.5) / XX	0.92	1.08	1.04	1.04
Средняя продолжительность	180W-60W	60W-60E	60E-180E	NH
XXI(RCP 4.5) / XX	0.79	0.93	0.86	0.88
XXI(RCP 8.5) / XX	0.97	0.99	1.11	1.03
Число блокирований	180W-60W	60W-60E	60E-180E	NH
XXI(RCP 4.5) / XX	1.14	1.14	1.24	1.19
XXI(RCP 8.5) / XX	0.93	1.08	0.93	1.01

(Мохов, Тимажев, 2014)

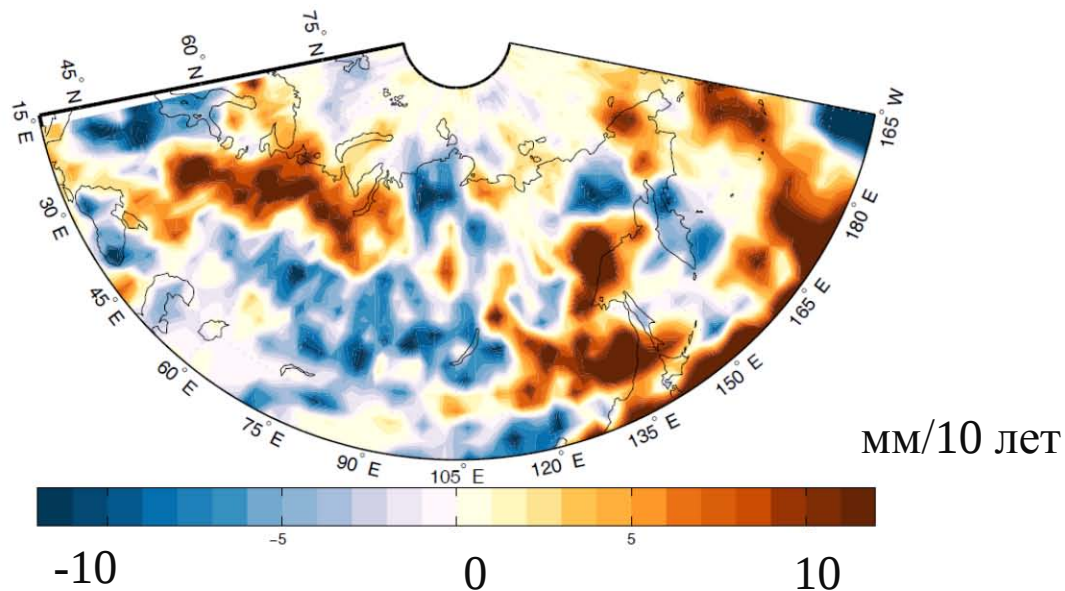
**Межгодовые вариации
общей продолжительности летнего блокирования
в средних широтах Северного полушария
в тихоокеанском секторе (130E-170W)
по модельным расчетам (MPI-ESM)
при антропогенном сценарии RCP8.5 для XXI века
в сопоставлении с вариациями, полученными по данным
реанализа для периода 1968-2013 гг.**



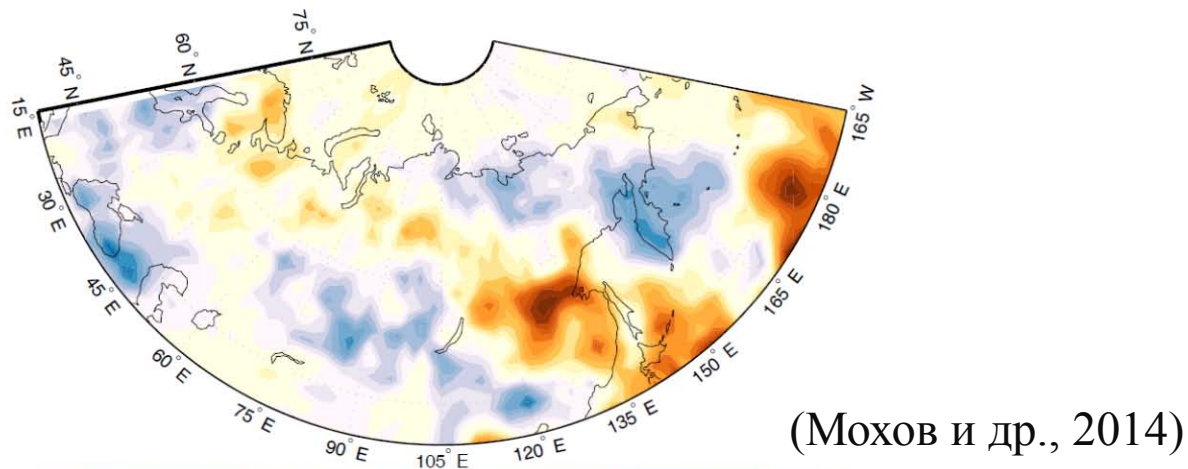
(Мохов и др., 2014)

Тренд количества летних осадков в регионах Северной Евразии по расчетам с климатической моделью MPI-ESM-MR при сценарии RCP 4.5 для 21 века

для 2006-2050 гг.

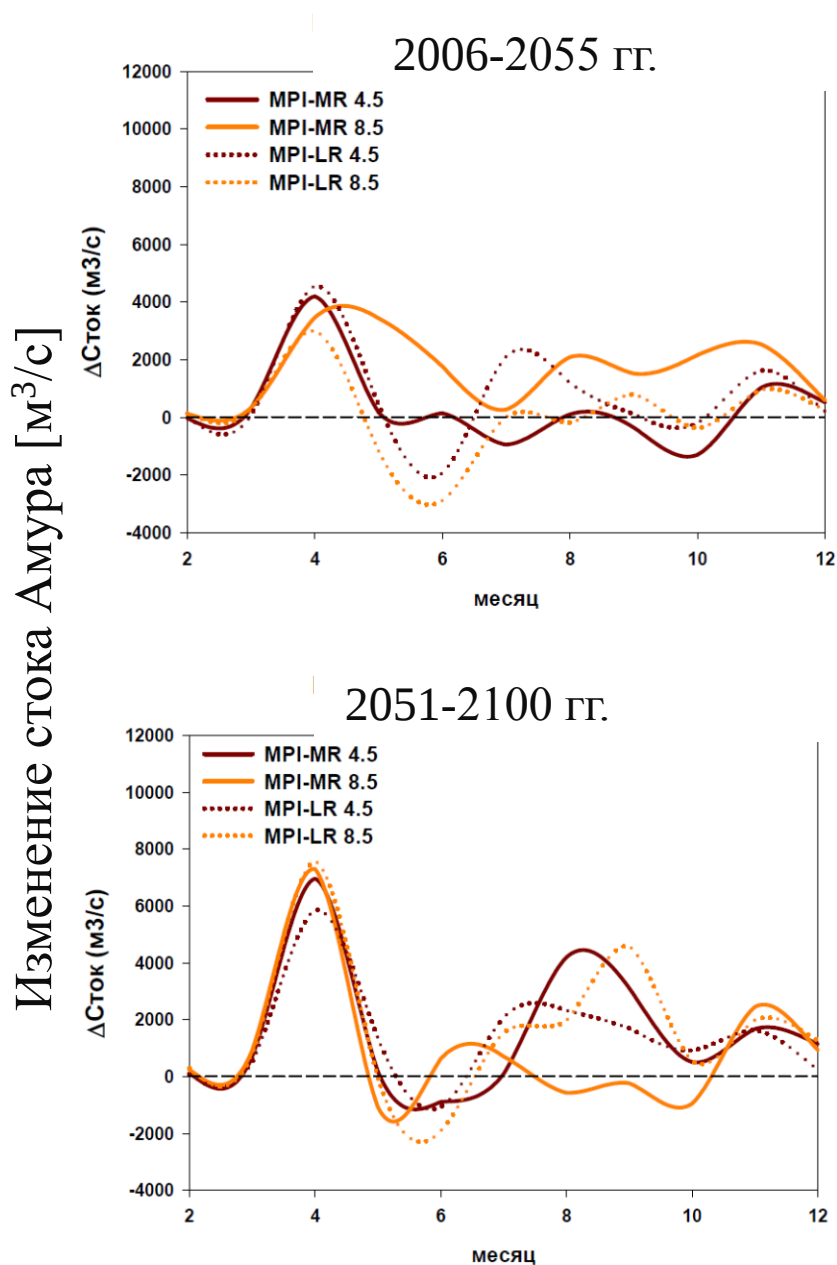


для 2006-2100 гг.



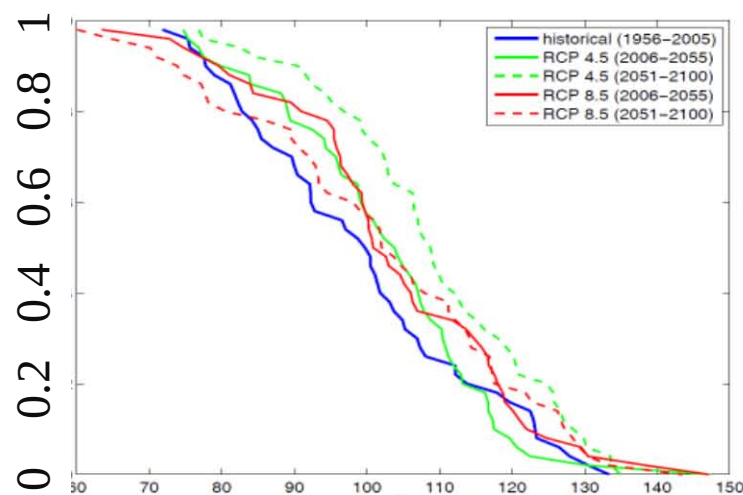
(Мохов и др., 2014)

Изменение годового хода стока Амура в 21 веке по модельным расчетам при сценариях RCP 4.5 и RCP 8.5



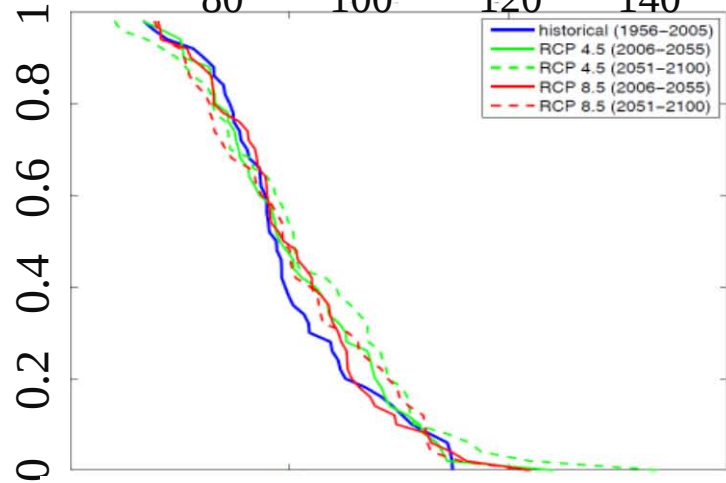
(Мохов и др., 2014)

Вероятность превышения количества осадков в бассейне Амура различных значений (в % от нормы для 1961-1990 гг.) для разных 50-летних интервалов и разных RCP сценариев по расчетам с климатической моделью MPI-ESM-MR



для июля

(%)

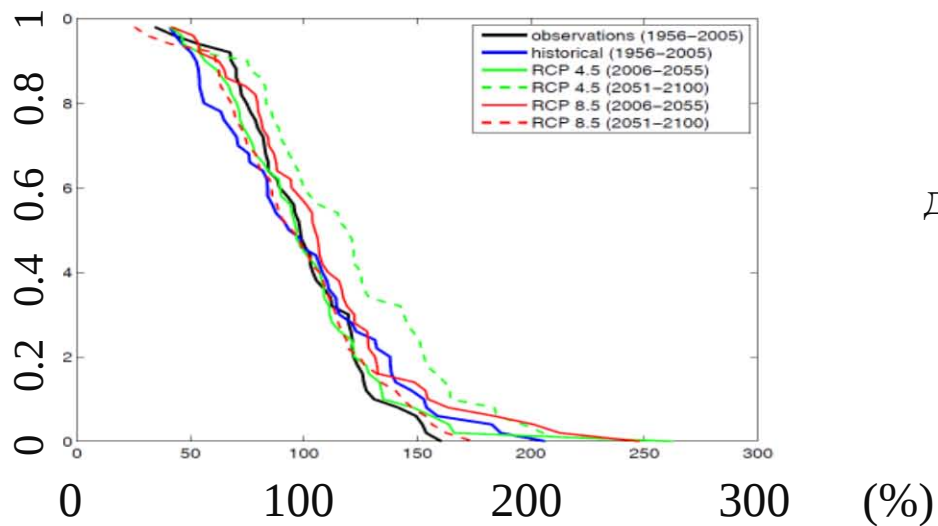


для августа

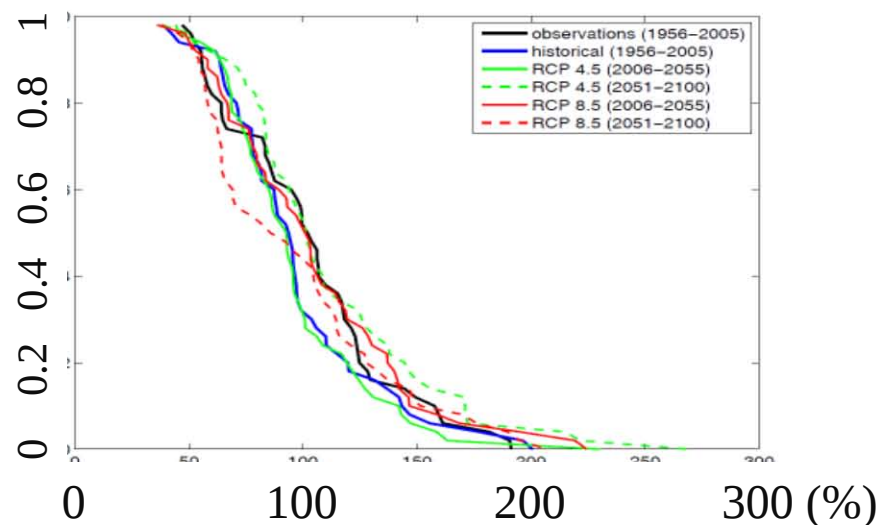
50 100 150 200 (%)

(Мохов и др., 2014)

Вероятность превышения стока Амура различных его режимов (в % от нормы для 1961-1990 гг.) для разных 50-летних интервалов и разных RCP сценариев по расчетам с климатической моделью MPI-ESM-MR в сопоставлении с данными.



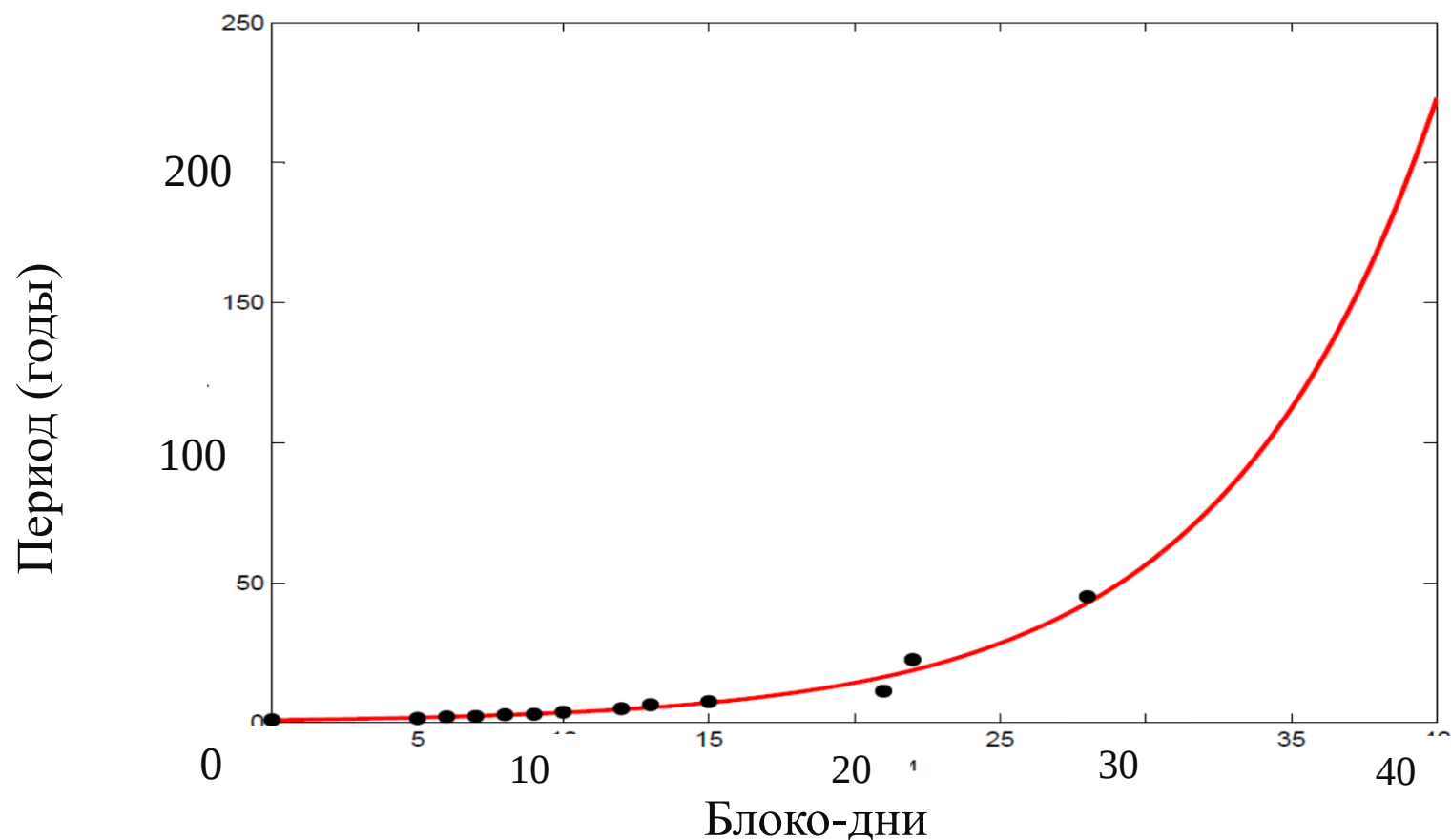
для августа



для сентября

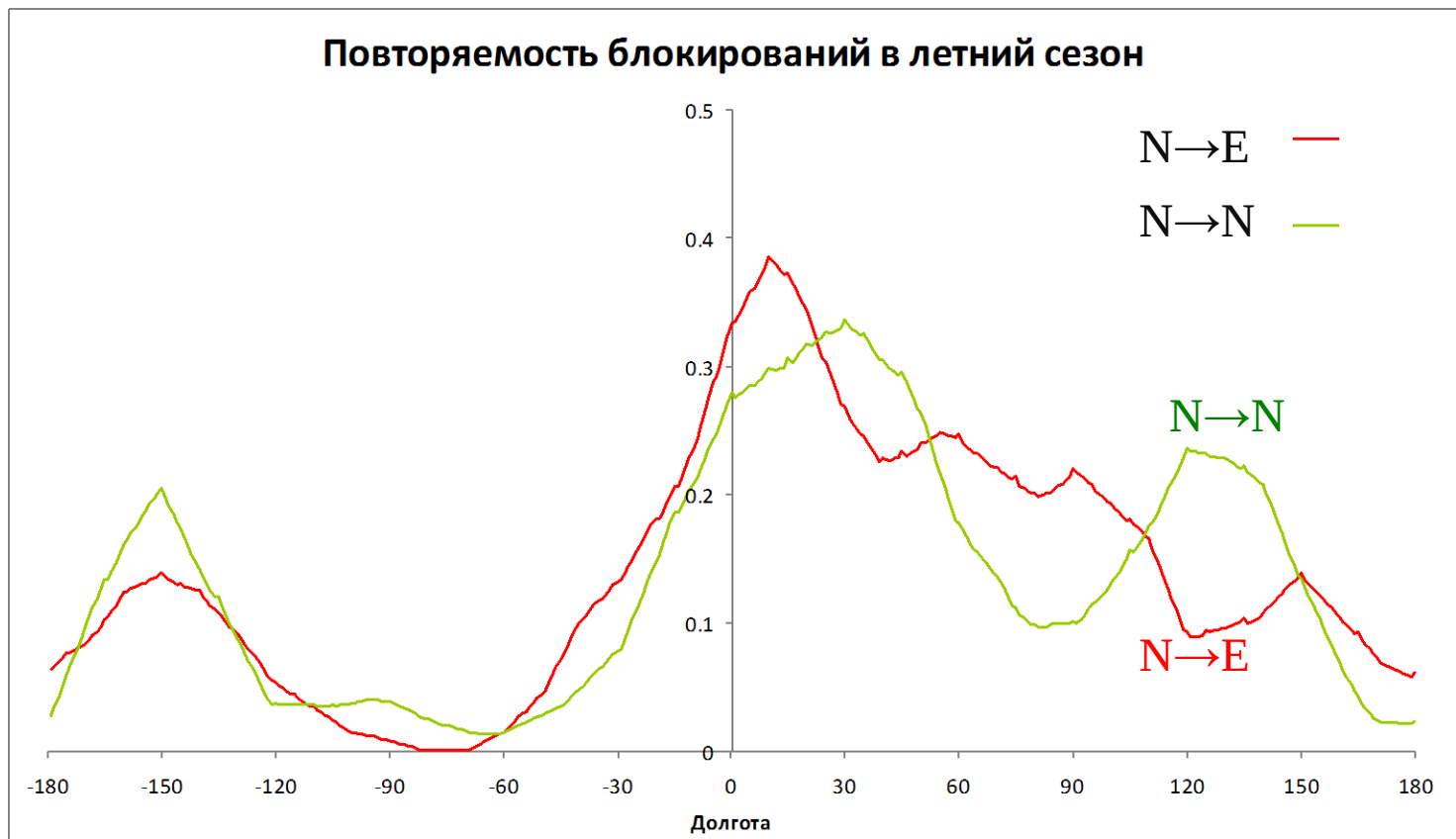
(Мохов и др., 2014)

Период повторяемости двух последовательных лет с длительностью летнего атмосферного блокирования в западно-тихоокеанском секторе не менее отмеченного на горизонтальной оси числа блоко-дней по данным реанализа для периода 1969-2013 гг.



Красная кривая — экспоненциальная аппроксимация.

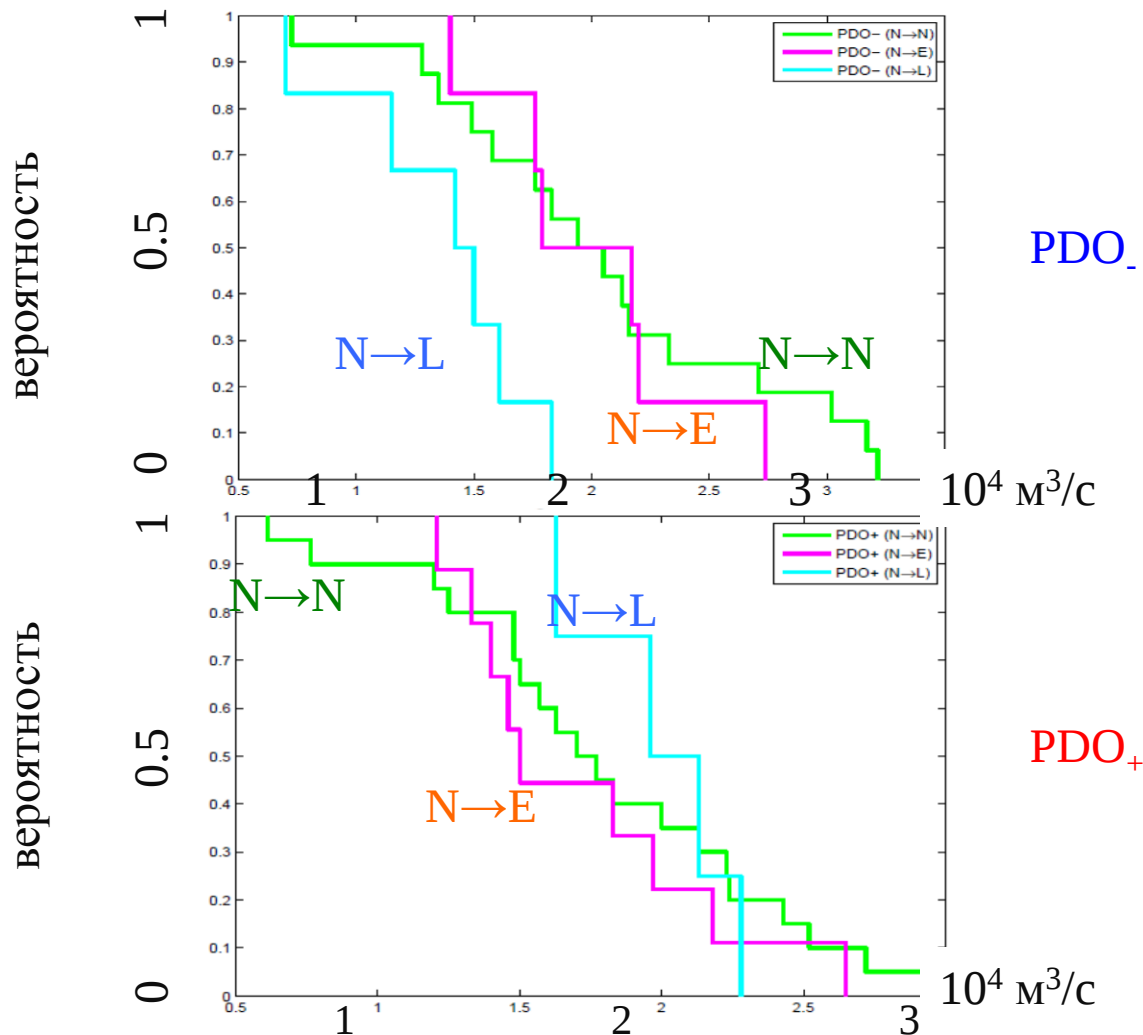
(Мохов и др., 2014)



Меридиональные распределения повторяемости летнего атмосферного блокирования в Северном полушарии по данным для периода 1969-2013 гг. для лет с началом в нейтральной фазе Эль-Ниньо (N) и заканчивающихся также в нейтральной фазе - переход $N \rightarrow N$ или в фазе Эль-Ниньо (E) – переход $N \rightarrow E$.

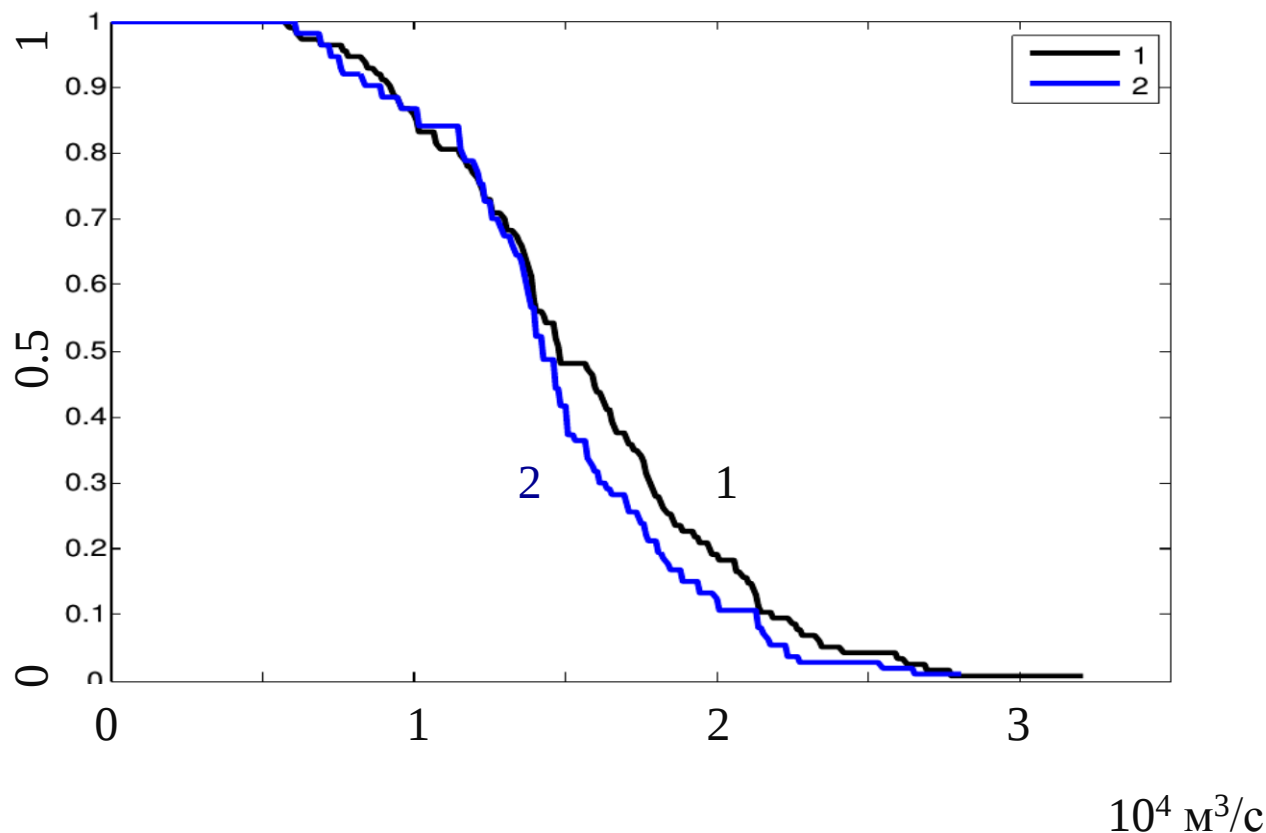
(Мохов и др., 2014)

Оценки вероятности превышения стока Амура [в $10^4 \text{ м}^3/\text{с}$] в августе различных значений по данным для периода 1900-2013 гг. для отрицательной (PDO_-) и положительной (PDO_+) фазы ТДО для лет с началом в нейтральной (N) фазе Эль-Ниньо/Ла-Нинья и заканчивающихся в N-фазе, фазе Эль-Ниньо (E) или Ла-Нинья (L).



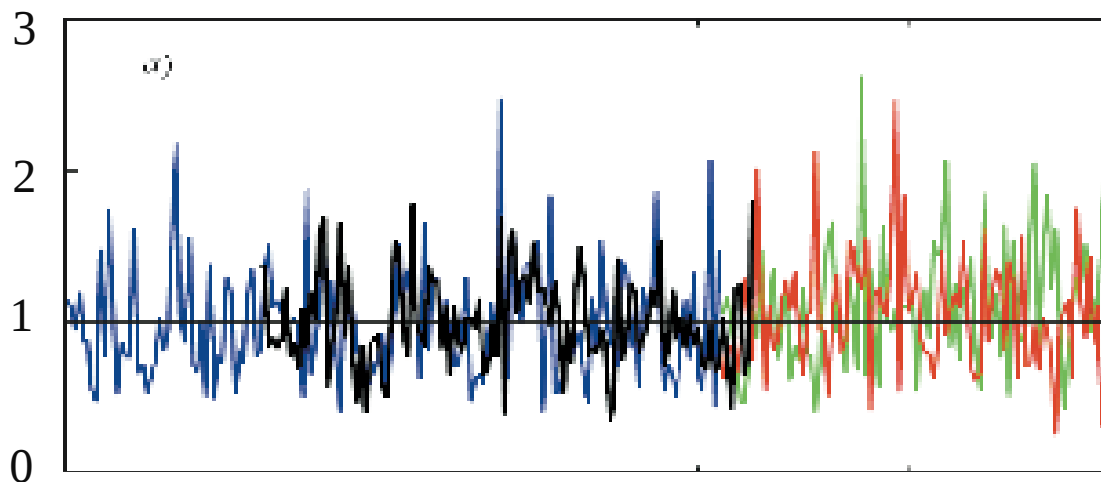
(Мохов и др., 2014)

Вероятность превышения стоком Амура разных значений в августе в течение двух последовательных лет (2) или в один год и в августе и в сентябре (1) по данным для периода 1900-2013 гг.

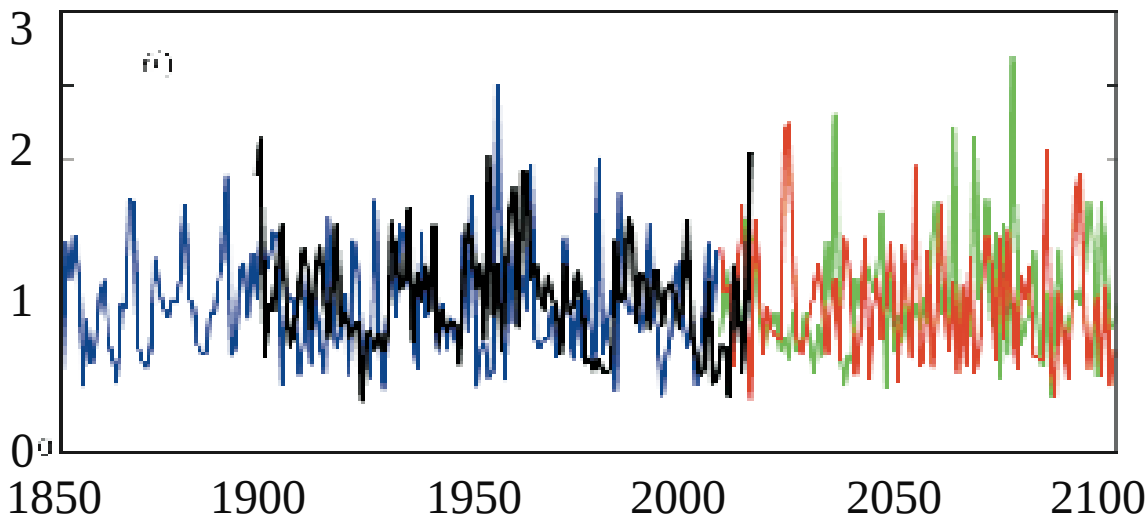


Межгодовая изменчивость стока Амура

август



сентябрь



Межгодовая изменчивость стока Амура в августе (а) и сентябре (б), нормированного на его среднюю величину для периода 1961-1990 гг., по расчетам с климатической моделью MPI-ESM-MR при сценариях RCP 4.5 (зеленая кривая) и RCP 8.5 (красная кривая) для 21 века в сопоставлении с данными наблюдений (черная кривая) и расчетами для 1850-2005 гг. (синяя кривая) при сценарии “historical”.

(Мохов и др., 2014)

Полученные модельные оценки свидетельствуют об общем увеличении вероятности экстремальных осадков и стока в бассейне Амура в летне-осенние муссонные сезоны при сценариях глобального потепления в 21 веке.

Росту риска наводнений способствует усиление муссонной активности, увеличение общей продолжительности летнего блокирования над Тихим океаном.

Что касается отмеченного в последние десятилетия увеличения в дальневосточном регионе зимнего снегозапаса, также способствующего росту риска наводнений в бассейне Амура, то при достаточно сильном потеплении следует ожидать ослабления его эффекта.

Потенциально важное значение имеют режим морских льдов, в частности в Охотском море, и выявленный в модельных экспериментах эффект положительной обратной связи между аномалиями температуры поверхности Тихого океана и атмосферной циркуляцией.

Модельные расчеты с использованием сценария умеренных антропогенных воздействий лучше соответствуют данным наблюдений для последних лет, в частности для стока Амура в муссонные сезоны, чем при более агрессивном антропогенном сценарии.

Совпадение модельных результатов с данными для межгодовых аномалий стока Амура получено лучшим для отрицательных аномалий стока, чем для положительных. Это указывает на то, что модельные оценки риска аномально низкого стока более надежны, чем риска аномально высокого.

Полученные оценки свидетельствуют о влиянии на формирование экстремального стока Амура в период муссонной активности режима Тихоокеанской десятилетней осцилляции.

Вероятность экстремально больших значений стока Амура в муссонный сезон, в частности в августе, больше в отрицательной фазе ТДО, чем в положительной. При этом существенна зависимость от фазы квазициклических явлений Эль-Ниньо/Ла-Нинья.

По данным для стока Амура с конца 19 века выявлено, что максимальная вероятность экстремально большого стока в муссонный сезон характерна для перехода $N \rightarrow N$ в отрицательной фазе ТДО.

Переход $N \rightarrow N$ реализовался в 2013 г. и возможен, согласно прогнозам, в 2014 г., но более вероятен переход к режиму Эль-Ниньо – $N \rightarrow E$. Вероятность превышения стока Амура в августе величины $3 \cdot 10^4 \text{ м}^3/\text{с}$ при переходе $N \rightarrow N$ около $1/6$.

Для перехода $N \rightarrow E$ по данным за последние более ста лет эта вероятность заметно меньше, чем для перехода $N \rightarrow N$ (а для перехода $N \rightarrow L$ – значительно меньше).

Диапазон вариаций стока для лет, начинающихся в нейтральной фазе, максимален для перехода $N \rightarrow N$. Переход $N \rightarrow N$ выделяется и без выделения фазы ТДО.

При реализации в 2014 г. перехода $N \rightarrow N$ потенциально повышенный риск экстремально большого стока Амура в муссонный сезон существенно уменьшается в связи с малой вероятностью достижения стоком Амура и в августе и сентябре экстремального уровня 2013 г.

В случае же реализации в 2014 г. более вероятного перехода $N \rightarrow E$ подобный риск еще меньше. Характерный период повторения достижения стоком Амура в августе в течение двух последовательных лет уровня августа 2013 г. - более двухсот лет.

Оценки периода повторяемости в тихоокеанском секторе в двух последовательных годах общей длительности летнего блокирования 2013 г. (более столетия) также характеризует возможность подобного длительного блокирования летом 2014 г. как маловероятную.

Спасибо за внимание