

## СЕЗОННЫЕ И ГОДОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В БАССЕЙНАХ РЕК АМУР И ЛЕНА В XXI ВЕКЕ

А.С. Калугин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

## SEASONAL AND ANNUAL CHANGES OF CLIMATIC CHARACTERISTICS IN THE AMUR AND LENA RIVER BASINS IN THE XXI CENTURY

A.S. Kalugin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*На основе данных ансамбля моделей общей циркуляции атмосферы и океана проведена оценка пространственно-временных сезонных и годовых изменений приземной температуры воздуха и атмосферных осадков для бассейнов рек Амур и Лена в течение XXI века.*

*Based on the data of the ensemble of general circulation models of the atmosphere and the ocean, the estimation of spatial and temporal seasonal and annual changes in the surface air temperature and precipitation for the Amur and Lena river basins during the XXI century.*

В последние десятилетия происходит существенное изменение глобального климата, которое выражается в повышении приземной температуры воздуха. За период инструментальных наблюдений с 1850-х гг. среднегодовая глобальная температура увеличилась на 0.7–0.8°C. Согласно выводам Второго оценочного доклада Росгидромета, в среднем по территории Российской Федерации рост температуры приземного воздуха за предшествующее столетие в два раза превысил темпы глобального потепления. При этом по сравнению со столетним трендом в последние десятилетия скорость потепления возросла в несколько раз, увеличились годовые суммы осадков, а также частота экстремальных гидрометеорологических явлений.

В настоящее время для оценок возможных изменений климата используются результаты расчетов характеристик по ансамблю моделей общей циркуляции атмосферы и океана из проекта CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5). Для оценки изменения климата в бассейнах исследуемых рек с целью снижения существующих неопределенностей, увеличения точности и пространственно-временной детализации климатических проекций была подготовлена база метеоинформации с использованием данных расчетов глобальных климатических моделей CMIP5 по результатам проекта Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project Phase 2b (ISI-MIP2b) за исторический период (до 2005 г.) при наблюдаемых концентрациях парниковых газов и аэрозолей, а также проекции климата до конца XXI века при сценариях возможных изменений этих концентраций (Representative Concentration Pathways, RCP-сценариев). Данные подготовлены путем приведения первичных расчетных среднесуточных данных о приземной температуре воздуха, интенсивности осадков 4-х моделей климата (GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR, MIROC-ESM-CHEM) за исторический период к данным реанализа EWEMBI, который представляет собой синтез суточных данных глобального реанализа ERA-Interim с пространственным разрешением 0.5°×0.5°, среднемесячных данных Climate Research Unit TS2.1 (CRU) и Глобального центра климатологии по атмосферным осадкам (GPCP), а также данных earth2Observe и NASA/GEWEX о коротковолновой и длинноволновой солнечной радиации для устранения систематических погрешностей в среднемесячных значениях [1].

Исследования проведены на примере бассейнов крупных рек Сибири и Дальнего Востока (Амур и Лена). Бассейн р.Амур (десятый по размеру речной бассейн в мире 1.85 млн. км<sup>2</sup>), для которого характерен умеренный климат с ярко выраженным муссонным характером циркуляции атмосферы и циклонической деятельностью, является одной из наиболее паводкоопасных территорий России, где в 2013 г. произошло катастрофическое по ущербу и продолжительности наводнение и экстремальное маловодье в 2008 г. В бассейне Лены (восьмой по размеру речной бассейн в мире 2.5 млн. км<sup>2</sup>), расположенном в условиях холодного резко континентального климата, происходят и прогнозируются одни из наиболее интенсивных изменений климата и речного стока в течение XX–XXI вв. Использование более совершенных данных проекций

изменения климата позволило получить более устойчивые оценки для исследуемых речных бассейнов, чем в ранее выполненных работах [2, 3].

Построение речной сети и выделение границ водосборных площадей рек выполнялось с использованием средств пакета ArcGIS на основе цифровой модели рельефа HYDRO1k с пространственным разрешением 1 км.

Для решения экstrapоляционных задач, связанных с оценкой будущих климатических изменений, необходимо, хотя и недостаточно оценить достоверность воспроизведения метеохарактеристик ансамблем GCMs (General Circulation Models) за исторический период, т.е. за период наличия данных станционных наблюдений. База станционной метеорологической информации была подготовлена на основе данных ВНИИГМИ-МЦД, а также данных, любезно предоставленных коллегами из КНР, которая включает временные ряды среднесуточных значений приземной температуры воздуха суточных сумм осадков, измеренных на 232 метеорологических станциях, расположенных в бассейне Амура или в непосредственной близости от него (169 из них приходится на российскую часть бассейна) и на 203 метеостанциях для бассейна р.Лены. Климатические модели с большой погрешностью воспроизводят ежедневные поля метеорологических характеристик. Более надежные оценки могут быть получены путем усреднения рассчитанных величин за большие временные интервалы (месяц, год). Было проведено сравнение рассчитанных среднебассейновых климатических норм метеорологических величин за базовый исторический период 1970–1999 гг. Для исследуемых речных бассейнов климатические модели воспроизводят нормы метеовеличин с высокой точностью. Погрешность определения нормы температуры воздуха по данным GCMs составила 0.1–0.2°C, суммы атмосферных осадков до 3%, а их среднеквадратического отклонения менее 0.1°C и 4.5% соответственно. Для уменьшения межмодельной неопределенности климатических характеристик применялся ансамблевый подход, т.е. проводилось усреднение результатов расчетов нескольких моделей, что дает более устойчивые оценки.

Помимо норм годовых метеовеличин была проведена оценка точности их сезонного хода. Для этого были рассчитаны нормы среднемесячной температуры воздуха, количества осадков, осредненных по площадям водосборов рек Амур и Лена (рис. 1).

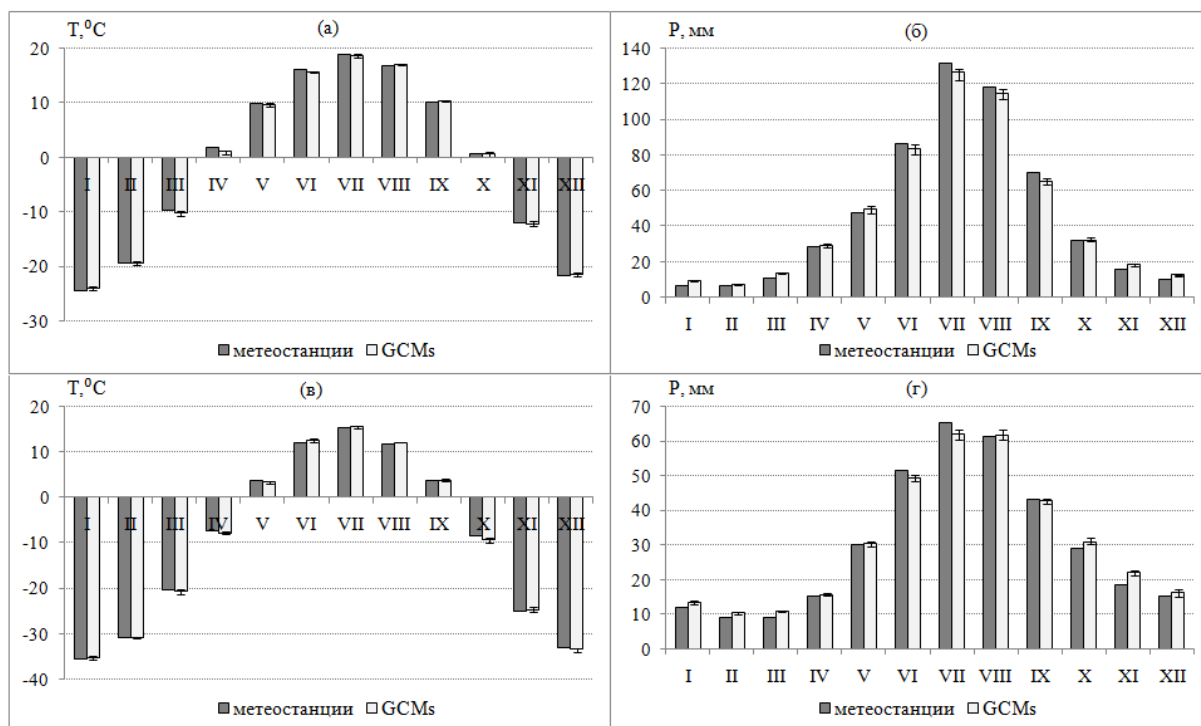


Рис. 1. Среднегодовое сезонное изменение осредненных по площади бассейна Амура (а, б) и Лены (в, г) величин температуры воздуха, атмосферных осадков, построенный по данным наблюдений и среднему по ансамблю климатических моделей с указанием диапазона оценок величин по различным GCMs за исторический период 1970–1999 гг.

Для двух речных бассейнов сезонный ход температуры воздуха воспроизводится климатическими моделями весьма точно. По температуре отмечено занижение значений GCMs для Амура в период с марта по июль в среднем на 0.4 °С и для Лены в марте-мае, октябре на 0.5 °С, завышение на 0.5 °С в январе для Амура и в июле для Лены в сравнении с данными стационарных наблюдений. По осадкам для бассейна Амура отмечено завышение величин по GCMs с октября по май на 2 мм и для Лены в октябре-ноябре на 3 мм, занижение с июня по сентябрь в среднем на 4 мм для Амура и для Лены в июне-июле на 3 мм.

Оценка временного хода метеовеличин, рассчитанного по стационарным метеоданным и данным ансамбля климатических моделей за исторический период, показала, что значения корреляции составили по температуре для Амура 0.55, Лены 0.32, по осадкам 0.07 и 0.03 соответственно, т.е. ряды не коррелируют между собой. Это объясняется тем, что климатические модели не воспроизводят специфические особенности погоды отдельных лет.

Также была оценена возможность воспроизведения по данным GCMs наблюдаемого тренда в ряду среднегодовых величин. Рост среднегодовой температуры (по линии тренда) в бассейнах рек Амур и Лена по данным наблюдений на метеостанциях за период 1970–1999 гг. составил 1.5 °С и 1.3 °С, по данным ансамбля моделей климата 0.9 °С для двух бассейнов.

Оценка пространственной точности расчета метеорологических характеристик, рассчитанных по данным моделей климата за многолетний период, проведена с помощью коэффициента пространственной корреляции. Были построены поля климатических норм метеорологических величин, рассчитанных по глобальным климатическим моделям за исторический период. Эти поля сравнивались с соответствующими полями, построенными по данным наблюдений. Пространственный коэффициент корреляции температуры воздуха по данным ансамбля GCMs составил для бассейна Амура 0.97, Лены 0.94. Коэффициент корреляции атмосферных осадков по данным GCMs составил для бассейна Амура 0.95, Лены 0.88.

В целом расчеты показали, что по данным моделей климата удалось воспроизвести среднегодовое сезонное ход метеоэлементов в бассейнах исследуемых рек, а также нормы годовых величин.

В настоящей работе на период XXI века использовались проекции климата при крайних сценариях RCP 2.6 и RCP 6.0. Сценарий RCP 8.5 не рассматривался ввиду его слабой реалистичности.

Аномалии среднеансамблевых климатических характеристик были вычислены как отношение рассчитанной величины за прогнозный период в XXI в. к норме температуры воздуха, осадков за базовый исторический период. Оценки проведены для середины (среднее за период 2036–2065 гг.) и конца (2070–2099 гг.) столетия (таблица 1, рис. 2).

Таблица 1. Аномалии рассчитанных по ансамблю GCMs нормы среднегодовой температуры воздуха и суммы осадков в середине / конце XXI века для сценариев RCP 2.6 и RCP 6.0

Река/ сценари й	Температура воздуха, °С		Осадки, %	
	RCP 2.6	RCP 6.0	RCP 2.6	RCP 6.0
Амур	1.8 / 2.0	2.1 / 3.6	7.4 / 6.3	5.7 / 12.4
Лена	2.2 / 2.4	2.4 / 4.2	8.9 / 10.2	10.7 / 18.2

В результате для Амура и Лены отмечено увеличение температуры воздуха на 1.8–2.4 °С по сценарию RCP2.6 и к середине XXI века по сценарию RCP 6.0, а к концу столетия более существенный рост на 3.5–4 °С; увеличение количества осадков на 6–10% по сценарию RCP2.6 и к середине XXI века по сценарию RCP 6.0, а в конце столетия по RCP6.0 для Амура на 12%, Лены – на 18%.

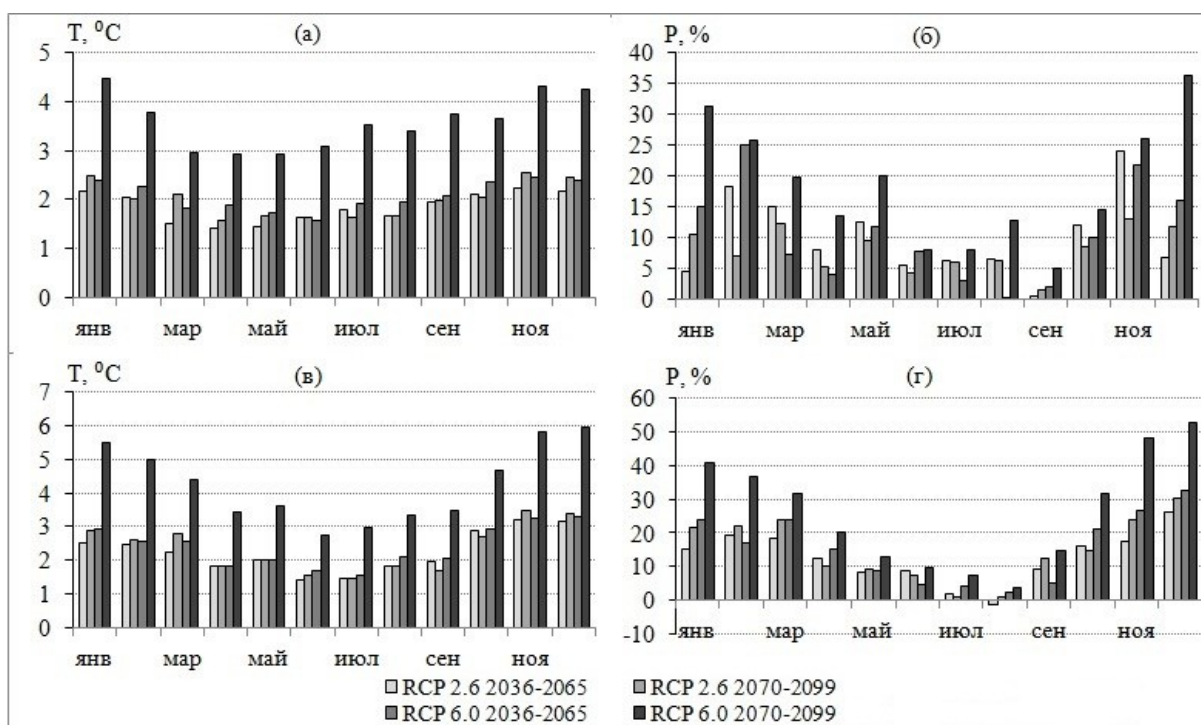


Рис. 2. Аномалии рассчитанных по ансамблю GCMs нормы среднемесячной температуры воздуха и суммы осадков в середине и конце XXI века для сценариев RCP 2.6 и RCP 6.0: а, б – бассейн р.Амур; в, г – бассейн р.Лена

Оценка изменения сезонного хода температуры воздуха показала, что наиболее интенсивное потепление ожидается в осенне-зимний период для территорий обоих речных бассейнов по двум рассмотренным сценариям. Разница в увеличении температуры воздуха между весенне-летним и осенне-зимним периодами составляет от 0.5 °C до 1 °C. Наибольшее увеличение увлажнения территории отмечено также в осенне-зимний период, но только диапазон роста количества осадков существенно больше: от первых процентов в июле-августе до 35–50% в зимние месяцы. В целом расчеты показали более интенсивное потепление и увлажнение для бассейна р.Лена по сравнению с Амуром.

#### Литература

1. Frieler K., Lange S., Piontek F. et al. Assessing the impacts of 1.5 °C global warming – simulation protocol of the Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project (ISIMIP2b) // *Geoscientific Model Development*. 2017. V.10(12). P.4321–4345.
2. Калугин А.С. Модель формирования стока реки Амур и ее применение для оценки возможных изменений водного режима // Дис. канд. геогр. наук. М.: ИВП РАН, 2016. 185 с.
3. Gelfan A., Gustafsson D., Motovilov Y., Arheimer B., Kalugin A., Krylenko I., Lavrenov A. Climate change impact on water regime of two great Arctic rivers: modeling and uncertainty issues // *Climatic change*. 2017. V.141(3). P.499–515.