

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ОБЬ-ИРТЫШСКОМ БАССЕЙНЕ В XXI ВЕКЕ

Кузин В.И.¹, Лаптева Н.А.^{1,2}

¹ *Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,
г. Новосибирск, Россия,*

² *Федеральное бюджетное учреждение науки Государственный научный центр
вирусологии и биотехнологии «Вектор», р.п. Кольцово, Новосибирская область, Россия*

e-mail: kuzin@sscc.ru

Аннотация. Работа посвящена исследованию возможных изменений стока рек Обь-Иртышского бассейна в XXI веке. Исходными данными являются результаты расчетов по десяти моделям программ проекта CMIP-5 программы IPCC. В расчеты включены модели INM (Россия), CNRM (Франция), GFDL (США), MIROC (Япония), HadGEM (Великобритания), MPI (Германия), CMCC (Италия), MRI (Япония), GISS (США) и CSIRO (Австралия). Как показали расчеты, межгодовая изменчивость речного стока в XXI веке имеет общие положительные тенденции в различных моделях при значимых вариациях в притоке пресной воды в Северный Ледовитый океан.

Ключевые слова: математическое моделирование, климатический речной сток сибирских рек в арктические моря

HYDROLOGICAL PROCESSES IN OB-IRTYSH BASIN IN THE XXI CENTURY

Victor I. Kuzin¹, Natalya A. Lapteva^{1,2}

¹ *Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS,
Novosibirsk, Russia*

² *Federal Budgetary Research Institution "State Research Center of Virology and Biotechnology
"Vector", Koltsovo, Novosibirsk region, Russia*

e-mail: kuzin@sscc.ru

Abstract. The work is devoted to the study of possible changes in the flow of the rivers of the Ob-Irtysh basin in the 21st century. The initial data are the results of calculations for ten models of IPIP CMIP-5 program. The models include INM (Russia), CNRM (France), GFDL (USA) and MIROC (Japan), HadGEM (Great Britain), MPI (Germany), CMCC (Italy), MRI (Japan), GISS (USA) and CSIRO (Australia). As calculations have shown, the interannual variability of river flow in the 21st century is positive in various models with significant variations in the fresh water inflow to the Arctic Ocean.

Key words: mathematical modeling, climatic river runoff of the Siberian rivers to the Arctic seas.

Введение

Климатические изменения в последние десятилетия на Земле имеют наибольшее влияние в высоких широтах северного полушария. Проблема описания этих изменений является сложной и требует учета многих факторов, включая гидрологическую составляющую климатических процессов в Арктике и Северном Ледовитом океане (СЛО).

Важным источником притока пресной воды в Северный Ледовитый океан является речной сток. Современные оценки дают значение около 3.2 тыс. куб. км в год. Это составляет около 56% по сравнению с притоком через Берингов пролив. Крупные реки российского Севера дают около 2.24 тыс. куб. км в год, что составляет около 70% от всего речного стока [1].

Суммарные годовые расходы за периоды измерений в XX веке претерпевают существенные межгодовые вариации (данные R-ArcticNET). Эта вода, будучи вынесена в виде льда или потока воды пониженной солености за пределы СЛО в северные моря Атлантики, является существенным регулятором в формировании термохалинной структуры и меридиональной циркуляции не только Северной Атлантики, но и всего Мирового океана [2]. Кроме межгодовой изменчивости, в гидрологических характеристиках сибирских рек наблюдаются положительные тренды, вызывающие в последние годы интерес климатологов, так как это является отражением трендов в общей климатической системе. Так, в последние десятилетия в Арктике наблюдается рост речного стока, например, с 1936 по 1999 год сток основных сибирских рек вырос на 7%. Этот рост хорошо коррелирует с увеличением индекса NAO. Это также может быть связано с положительным трендом NAM (North Annular Mode), являющейся частью Арктической Осцилляции. Все эти факты свидетельствуют о том, что влияние изменчивости баланса пресной воды в Арктике на климатическую систему, в будущем веке может быть существенным и требует изучения на основе климатических моделей речного стока, моделей циркуляции отдельных океанов, а также совместных моделей климатической системы проекта CMIP-5.

Цель работы

Интересным представляется вопрос: будет ли процесс увеличения речного стока, наблюдавшийся в конце XX и начале XXI века, продолжаться и в дальнейшем, продуцируя обратные связи в климатической системе. В статье рассматриваются результаты моделирования стока рек Обь-Иртышского бассейна в Северный Ледовитый океан в XXI веке. Расчеты проводились на основе результатов моделей INM (Россия), CNRM (Франция), GFDL (США), MIROC (Япония), HadGEM (Великобритания), MPI (Германия), CMCC (Италия), MRI (Япония), GISS (США) и CSIRO (Австралия) сценария RCP 8.5 проекта CMIP-5 IPCC. Расчеты межгодовой

изменчивости речного стока в XXI веке имеют общие положительные тенденции при значимых различиях в притоке пресной воды в моря Арктического океана. В последние десятилетия сток сибирских рек увеличился, что явилось откликом на увеличение осадков при изменении климата Сибири [3].

Климатическая модель речного стока

Модель речного стока является линейной резервуарной моделью. Модель составлена из линейных резервуаров или каскада резервуаров в ячейках сетки. Скорость изменения стока из ячейки или каскада ячеек в простейшем варианте модели Калинина-Милюкова [4] определяется на основе решения интеграла свертки (Дюамеля).

Исходя из задачи изучения климатических процессов Сибири, рассматриваемая область покрывает территорию $40^{\circ}\text{N} - 80^{\circ}\text{N}$, $50^{\circ}\text{E} - 170^{\circ}\text{E}$ по пространству. Эта зона простирается по долготе от Урала до Дальнего Востока и по широте от Северного Казахстана до Северного Ледовитого океана. В модели учитывались бассейны рек: Обь-Иртыш, Пур, Таз, Ангара-Енисей, Хатанга, Анабар, Оленек, Лена, Яна, Индигирка, Колыма.

В конкретной реализации модели поток воды разделяется на три составляющие: поверхностный сток, грунтовый сток, речной сток. Поверхностный и грунтовый стоки представляют собой единичные ячейки, а речной сток представлен в виде каскадов ячеек. Количество каскадов для каждой ячейки в руслах рек определяется на основе полинома регрессии второго порядка по величине коэффициента задержки. Коэффициент задержки грунтового стока для ячейки принимается постоянным. Инфильтрация воды в грунт проводилась в каждой ячейке на основе характеристик поверхности для каждого бассейна. В каждой ячейке производится учет процентного содержания болот и озер. При проведении численных экспериментов по климатической модели речного стока было выбрано разрешение, составляющее $1/3$ градуса по широте и долготе соответственно. Формирование направлений речного, поверхностного и

грунтового стоков строились на основе данных по рельефу и анализа графов стоков по поверхности и в речном русле. Верификация модели была проведена на данных реанализа MERRA. Для сравнения использовались данные наблюдений на гидрологических постах Гидрометеослужбы и данные R-ArcticNET. Результаты расчетов показали достаточную адекватность модели для расчетов климатических стоков рек Сибири.

Результаты моделирования

Был проведен численный эксперимент для XXI века (период 2006 - 2100 гг.) на основе данных расчетов по моделям Программы МГЭИК. Анализ результатов по стокам различных моделей показывает, что при общем увеличении годового стока в течение столетия [5] существуют заметные различия. На Рис. 1 представлена межгодовая изменчивость стока рек Обь-Иртышского бассейна в XXI веке. При расчетах по всем десяти моделям наблюдаются положительные тренды. На рисунке представлен осредненный тренд.

На рис.2 представлены гистограммы суммарного годового стока реки Обь в Карское море для десяти моделей, осредненного за первую и вторую половины XXI века. Горизонтальная линия - осредненные данные измерений в XX веке.

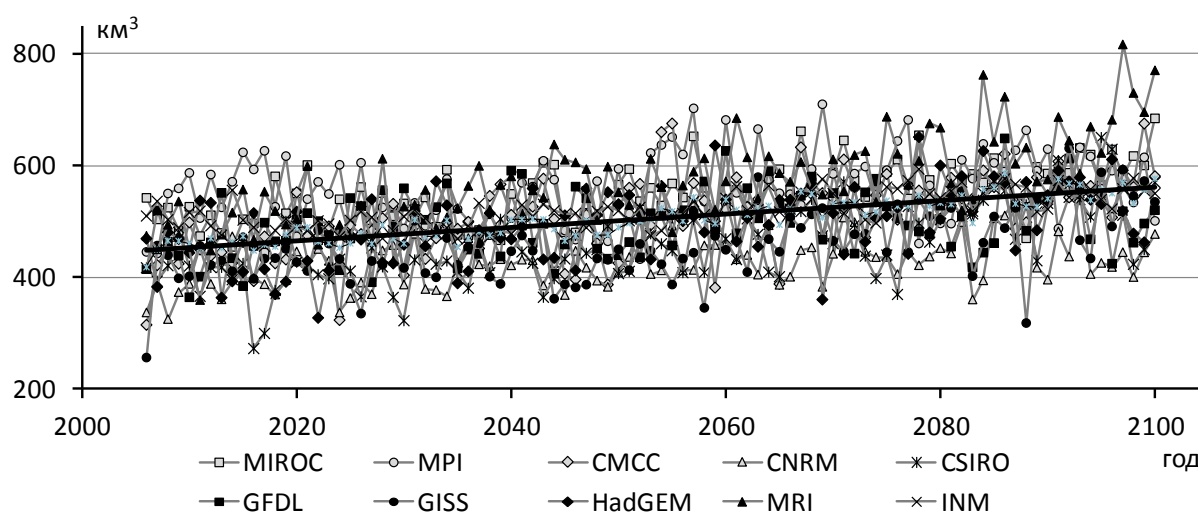


Рис. 1 – Межгодовая изменчивость стока рек Обь-Иртышского бассейна в XXI веке.
Сплошная линия - осредненный тренд

Увеличение годового стока с первой на вторую половину XXI века для представленных моделей варьируется от 7,5% до 18,5%. Относительно годового стока в XX веке увеличение в первой половине XXI века претерпевает изменения от 2 до 35%, а во второй половине - от 12 до 55%.

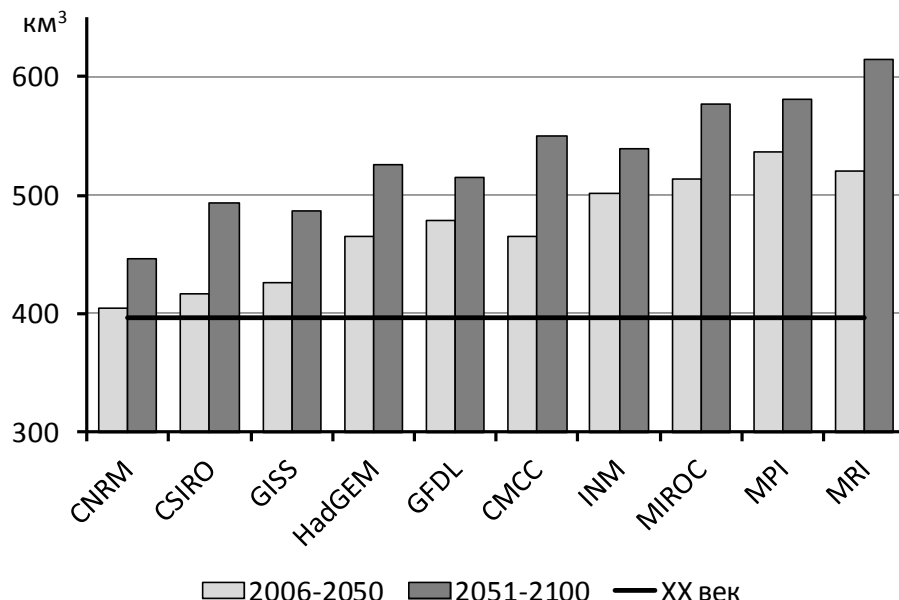


Рис. 2 – Изменения годового речного стока в первой и второй половине XXI века для моделей IPCC. Горизонтальная линия - климатические значения для XX века.

На рисунке 3 представлен гидрограф по мультимодельному расчету в сопоставлении с данными наблюдений в XX веке. Графики расчетов в среднем качественно воспроизводят основные фазы внутригодового распределения речного стока для анализируемого водосбора.

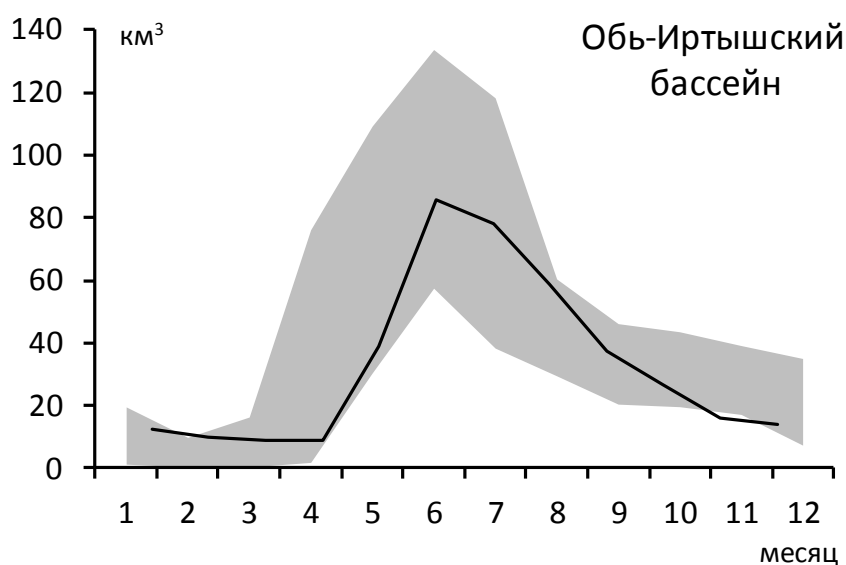


Рис. 3 – Гидрограф по мультимодельному расчету для моделей IPCC по Обь-Иртышскому бассейну

Заключение

Для моделирования речного стока Сибирских рек разработана линейная резервуарная модель климатического речного стока. На основе проведённых расчетов речного стока в XXI веке для десяти моделей по данным проекта CMIP5 результаты показали устойчивый положительный тренд для всех моделей. Наибольший рост притока из них дает модель MRI-CGCM3 / Япония. Приведенные результаты свидетельствуют о разнице в описании гидрологических характеристик Сибири для разных моделей.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 14-05-00730 и проекта Президиума РАН программы 17.6.

Литература

1. Aagaard K., Carmack E.C. The role of sea ice and other fresh water in the Arctic circulation // Journal of Geophysical Research. – 1989. – Vol. 94. – С.4,485-4,498. doi: 10.1029/JC094iC10p14485.
2. Broecker W.S. Thermohaline circulation, the Achilles heel of our climate system: Will man-made CO₂ upset the current balance? // Science. – 1997. – Vol. 278.
3. Shiklomanov I.A., Shiklomanov A.I., Lamers R.B., Peterson B.J., Vorosmarty C.J. The dynamics of river water inflow to the Arctic Ocean // Proc. NATO Advanced Research Workshop on the Freshwater Budget of the Arctic Ocean, Tallin, Estonia, NATO. – 2000. – P 281-296.
4. Бураков Д.А. К оценке параметров линейных моделей стока // Метеорология и гидрология. – 1989. – Т. 10. – С. 89-95.
5. Кузин В.И., Платов Г.А., Лаптева Н.А. Оценка влияния межгодовой изменчивости стока Сибирских рек на циркуляцию Северного Ледовитого океана // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2015. – Т. 51. – № 4. – С. 437-447.