

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА СИБИРИ В XXI В.

Виктор Иванович Кузин

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Россия, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, доктор физико-математических наук, профессор, зав. лабораторией, тел. (383)330-64-50, e-mail: kuzin@sscc.ru

Наталья Александровна Лаптева

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, младший научный сотрудник, тел. (383)330-64-50; Федеральное бюджетное учреждение науки «Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии "Вектор"», 630559, Россия, Новосибирская область, Новосибирский район, р. п. Кольцово, АБК, старший научный сотрудник, тел. (383)363-47-00, e-mail: lapteva@vector.nsc.ru

В статье обсуждаются результаты расчетов климатического речного стока для Сибирского региона. При верификации модели проводились расчеты стоков в XX в. на основе данных реанализа MERRA. Расчеты для XXI в. проводились по данным результатов шести моделей, участвующих в сценарии RCP 8.5 проекта CMIP5 IPCC за период 2006–2100 гг. Все модели показали положительный тренд за расчетный период. Для выяснения основных факторов, влияющих на увеличение стока были проанализированы составляющие гидрологических компонентов влагонаполнения для одной из моделей. В статье приводится анализ изменения характеристик для XXI в. по сезонам.

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

ESTIMATE OF POSSIBLE VARIATIONS OF THE SIBERIAN HYDROLOGICAL REGIME IN THE XXI CENTURY

Victor I. Kuzin

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, prospect Akademika Lavrentjeva, 6, doctor, professor, Head of the Laboratory, tel. (383)330-64-50, e-mail: kuzin@sscc.ru

Natalya A. Lapteva

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, prospect Akademika Lavrentjeva, 6, junior Researcher, tel. (383)330-64-50; Federal Budgetary Research Institution «State Research Center of Virology and Biotechnology "Vector"», 630559, Russia, Novosibirsk region, Koltsovo, Senior staff scientist of department of Biophysics and Ecological, tel. (383)363-47-00; e-mail: lapteva@vector.nsc.ru

The paper discusses the results of calculations climatic river runoff for the Siberian region. For the verification of the model the MERRA reanalysis data for the XX century were used. For the XXI century calculations by the data of the six models of the scenario RCP 8.5 of the Project CMIP5 IPCC for the period 2006 -2100 were done. All the models show the positive trend. To study the key factors influencing this increasing of the runoff the different hydrological characteristics for one of the model were analyzed. The distributions of the characteristics for the seasons were presented in the paper.

Key words: mathematical modeling, climatic river runoff, Siberian rivers basins.

Введение

В последние десятилетия очевидным фактом стали климатические изменения, происходящие в гидрологии высоких и средних широт северного полушария. Важным следствием этих изменений является то, что эти процессы могут привести к откликам в глобальной климатической системе на основе механизмов обратных связей. Важной частью этих изменений является гидрологическая система Сибири и Арктики. Существенную роль здесь играет сток сибирских рек в Северный Ледовитый океан.

Основываясь на данных, приведенных в R-ArcticNET [<http://www.r-arcticnet.sr.unh.edu/v4.0/index.html>] суммарный сток одиннадцати основных рек оценивается величиной 1.7 тыс. куб. км в год.

Однако, из указанных данных также следует, что суммарный годовой расход сибирских рек за период второй половины XX века претерпевает существенные межгодовые вариации. Изменения для отдельных рек составляют от 25 до 40% и более. Существенную роль при этом, как можно предполагать, играет межгодовая климатическая изменчивость атмосферной циркуляции и характеристики поверхности.

Наряду с межгодовой изменчивостью в гидрологических характеристиках Сибирских рек наблюдаются устойчивые положительные тренды [1].

Анализ изменений гидрологической составляющей климатической системы Сибири в XX веке был получен на основе данных реанализа MERRA в работах [2, 3]. Далее была рассмотрена проекция развития гидрологических характеристик Сибири и, в частности, речного стока в XXI веке в работах [4, 5].

Настоящая статья посвящена рассмотрению отдельных аспектов проблемы климатических изменений гидрологии Сибири в XXI веке на основе данных расчетов по шести моделям проекта CMIP программы IPCC. Результаты речного стока показали устойчивый положительный тренд речного стока при ряде различий. Это инициировало исследование изменений внутренних гидрологических факторов в XXI веке, влияющих на сток сибирских рек на примере одной из моделей, входящих в проект CMIP5 программы IPCC. В качестве данных были выбраны результаты расчетов по модели MPI-ESM (Германия), являющейся одной из лидирующих моделей IPCC.

Результаты анализа.

Используемая для расчетов модель речного стока является линейной, резервуарной моделью типа Калинина-Милюкова [6, 7]. Поверхностный, грунтовый и речной сток определяется на основе последовательного решения обыкновенных дифференциальных уравнений, сведенных к интегралам свертки (Дюамеля). Конкретная реализация модели представлена в работах [2, 3, 8].

При проведении численных экспериментов по климатической модели речного стока было выбрано разрешение составляющее $1/3$ градуса по широте и долготе соответственно. Модель речного стока покрывает Сибирский регион по долготе от Урала до Чукотки и по широте от Монголии до Северного Ледо-

витого океана. В модели учитывались бассейны рек: Обь - Иртыш, Енисей - Ангара, Лена, Пур-Таз, Хатанга, Анабар, Оленек, Яна, Индигирка, Колыма.

Для указанных бассейнов были сделаны численные расчеты по моделированию стока рек для периода 2006 - 2100 гг. на основе данных атмосферных характеристик по результатам расчетов моделей: INM-CM5 (ИВМ РАН, Россия), CNRM-CM5 (MeteoFrance), GFDL-ESM2M (Princeton, USA), MIROC5 (Japan), HadGEM-ES (Great Britain), MPI-ESM (Germany) участвующим в проекте CMIP5 сценария RCP-8.5, представленных в базах данных IPCC (cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5). Результаты расчетов речного стока, проведенных по этим данным показывают устойчивые положительные тренды для всех сибирских рек. На рис. 1 представлены гистограммы годового стока в Северный Ледовитый океан, осредненного за периоды 2006 - 2050 и 2051 - 2100 гг. Рисунок показывает наибольшее увеличение стока для модели MPI-ESM. Результаты расчетов по данным остальных моделей дают более низкие значения. Наименьшее увеличение стока наблюдается у модели INM-CM5.

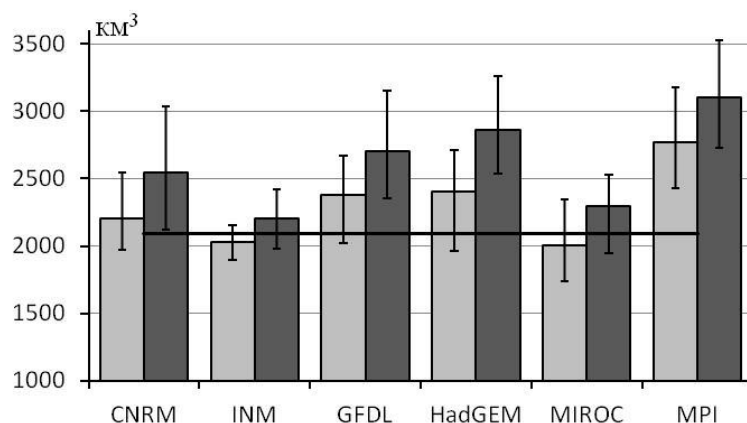


Рис. 1. Годовые стоки сибирских рек в СЛО в XXI веке для различных моделей. Справа - осреднение по периоду 2006 - 2050 гг., слева - 2051 - 2100 гг. Горизонтальная линия - осредненные данные измерений в XX веке. Вертикальные линии обозначают амплитуду межгодовых колебаний

Далее представляло интерес проанализировать за счет каких компонентов и в какие периоды гидрологического цикла года происходит максимальное увеличение притока воды в бассейны рек Сибири. Данные были проанализированы на основе результатов модели MPI-ESM, поскольку в этой модели наиболее ярко выражено увеличение стока.

На рис. 2 представлены гидрологические характеристики для бассейнов, формирующих стоки в арктические моря СЛО для моментов 2006 и 2100 гг. Влагонаполнение в модели состоит из трех компонентов: осадки – испарение + приток воды за счет таяния снега.

Рис. 2, а представляет разность осадков и испарения, что описывает прямое поступление влаги на поверхность бассейна. Можно видеть, что происходит увеличение этой характеристики за исключением летнего сезона для бас-

сейна Карского моря. Возможно это происходит за счет увеличения испарения из болотных систем Западной Сибири при увеличении температуры. Для всего бассейна притоков для Северного Ледовитого океана максимальные значения даёт осенний сезон.

На рис. 2, б представлено результирующее влагонакопление. В эту характеристику неявно включено поступление воды за счет таяния снега, что дает существенные максимумы весной в связи с паводками. Существенный пик также наблюдается осенью. Данные на рис. 2, а, б представлены в абсолютных величинах и количественная оценка изменений за анализируемый период затруднена. Отличия, формирующихся в течение столетия, представлены на рис. 2, в, г в виде разностей между абсолютными величинами характеристик. Изменения влагонаполнения имеют максимальные положительные значения для зимнего и осеннего периодов, достигающие до значений 300–450 куб. км. Умеренное увеличение наблюдается весной. Для лета существует уменьшение влагонаполнения за счет превышения испарения над осадками.

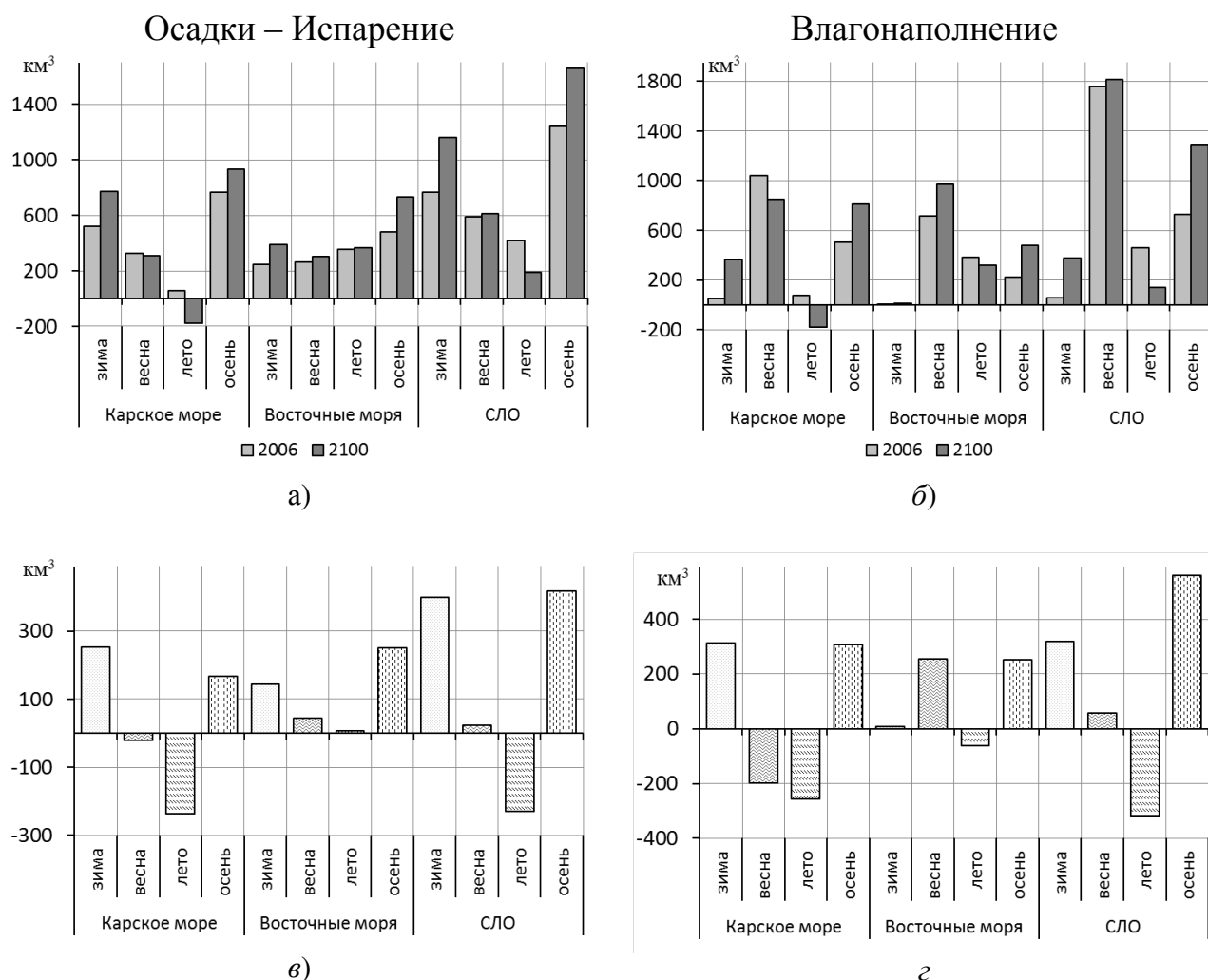


Рис. 2. Изменение гидрологических составляющих между 2006 и 2100 годами по сезонам

Заключение

В статье представлены результаты по анализу гидрологических характеристик бассейнов Сибирских рек в XXI веке. Первым этапом было проведение расчетов на основе проекции климатических изменений по сценарию RCP 8.5 проекта CMIP5 IPCC. В качестве входных данных были выбраны результаты расчетов по моделям INM-CM5, CNRM-CM5, GFDL-ESM2M, MIROC5, HadGEM-ES, MPI-ESM. Результаты расчетов показывают устойчивый положительный тренд для всех моделей. Наибольший рост притока дает модель MPI-ESM, наименьший - INM-CM5. Сток по другим моделям имеют средние значения. На втором этапе был проведен анализ гидрологических факторов, формирующих объем воды, поступающей в бассейны рек. Анализ показал, что наибольший вклад в увеличение гидрологических характеристик, формирующих сток, дают сезоны зима и осень при умеренном росте весной. Летний период характеризуется отрицательным трендом. Эти характеристики определяют общий положительный тренд речного стока в XXI веке

Работа выполнена при поддержке программы ОМН РАН 1.3.3-6., Президиума РАН 23.3-1. и гранта РФФИ 14-05-00730.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Peterson B.J., Holmes R.M., McClelland J.W., Vorosmarty C.J., Shiklomanov I.A., Shiklomanov A.I., Lammers R.B., Rahmstorf S. Increasing river discharge to the Arctic Ocean // Science. - 2002. - V. 298. - P. 2171–2173.
2. Кузин В.И., Лаптева Н.А. Математическое моделирование климатического речного стока из Обь-Иртышского бассейна // Оптика атмосферы и океана. - 2012. - Т. 25. - № 06. - С. 539–543.
3. Кузин В.И., Лаптева Н.А. Математическое моделирование стока основных рек Сибири // Оптика атмосферы и океана. - Т. 27. - № 06. - 2014. - С. 525–529.
4. Кузин В.И., Платов Г.А., Лаптева Н.А. Оценка влияния межгодовой изменчивости стока Сибирских рек на циркуляцию Северного Ледовитого океана // Известия РАН. ФАО. - 2015. - Т. 51. - № 4. - С. 437–447.
5. Kuzin V.I., N.A. Lapteva Calculation of the East Siberian subarctic rivers runoff in the XXIst century // Bull. NCC Ser. Num. Model. in Atmosphere, Ocean and Environment Studies. – Novosibirsk: NCC Publisher – 2015. – Issue 15. – P. 23–28.
6. Кучмент Л.С. Математическое моделирование речного стока. - Л.: Гидрометеиздат, 1972. - 190 с.
7. Бураков Д.А. К оценке параметров линейных моделей стока // Метеорология и гидрология. - 1989. - № 10. - С. 89–95.
8. Hagemann S., Dumenil L. Hydrological discharge model // Technical report No 17, MPI, Hamburg. - 1998. - 42 p.

© В. И. Кузин, Н. А. Лаптева, 2016