

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОКА ИЗ БАСЕЙНА РЕКИ ЛЕНА

Виктор Иванович Кузин

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Ак. Лаврентьева, 6, д.ф.-м.н., профессор, заведующий лабораторией, тел. (383)3306450, e-mail: kuzin@sscc.ru

Наталья Александровна Лаптева

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Ак. Лаврентьева, 6, младший научный сотрудник, тел. (383)3306450, e-mail: lapteva@vector.nsc.ru

В статье представлена климатическая модель речного стока с разрешением 1/3 градуса. Для расчетов использовались данные реанализов NCEP/NCAR и ERA40 для бассейна рек и Лена Восточной Сибири. Контрольные данные о стоках рек взяты из результатов измерений на гидрологической станции Лена-Кюсюр.

Ключевые слова: математическое моделирование, климатический речной сток, бассейн реки Лена.

MATHEMATICAL MODELLING OF THE RUNOFF FROM THE LENA RIVER BASIN

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)3306450, 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)3306450, e-mail: lapteva@vector.nsc.ru

Climatic model of the river runoff with 1/3 degree resolution is presented in the paper. Data of the NCEP/NCAR and ERA40 reanalysis was used for the numerical modeling for the Lena river watershed in the Eastern Siberia. The control data about the river discharge was taken from the results of the measurements on the hydrological station Lena-Kusur.

Key words: Mathematical modelling, climatic river runoff, Lena river basin.

Введение.

Глобальный гидрологический цикл в атмосфере и океане играет важнейшую роль в определении климатического состояния на Земле. Для климата материков этот цикл имеет первостепенное значение, поскольку это связано с поступлением влаги на их поверхность и регулирует увлажненность почвы. Особый интерес в последнее время уделяется региональным характеристикам гидрологического цикла и, в частности, в средних и высоких широтах.

В настоящей статье обсуждаются результаты расчетов по линейной резервуарной модели климатического речного стока к бассейну р. Лена.

Имея исток вблизи Байкальских гор в центральном Сибирском плато, она протекает на север и северо-запад в море Лаптевых Северного Ледовитого океана. Водосборный бассейн реки Лена составляет 2400 тыс. км², из которых 80 - 93% перекрыт многолетней мерзлотой [1]. Лена привносит около 524 км³ пресной воды в Арктический океан в год, что составляет около 15% всего притока пресной воды в бассейн [2]. Вариации стока составляют величины, достигающие 63%. Все эти факты делают проблему анализа и моделирования стока реки Лена в рамках климатической системы Сибири и Арктики весьма актуальной [3, 4].

Климатическая модель речного стока.

Разработанная модель составлена из линейных резервуаров в ячейках сетки. Это означает, что скорость стока из ячейки линейно зависит от притока и пропорциональна наклону в ячейке и обратно пропорциональна расстоянию между центрами ячеек. Скорость изменения стока из ячейки или каскада ячеек в простейшем варианте модели Калинина-Милюкова [5,6] определяется на основе последовательного решения обыкновенных дифференциальных уравнений, сведенных к интегралам свертки (Дюамеля).

В конкретной реализации модели поток воды на суше разделяется на три составляющие: поверхностный сток, грунтовый сток, речной сток [7, 8].

Поверхностный и грунтовый стоки представляют собой единичные ячейки, а речной сток представлен в виде каскадов ячеек. Количество каскадов вычисляется по размеру, наклону ячеек и величине коэффициента задержки. Коэффициент задержки грунтового стока для ячейки принимается постоянным. Каждая элементарная ячейка модели имеет 8 возможных направлений стока в соседние ячейки - четыре по координатным географическим направлениям: N, E, S, W и четыре диагональных направления: NE, SE, SW, NW, определяемых наклоном рельефа однозначным образом. В каждой ячейке производится учет процентного содержания болот и озер.

Результаты моделирования.

При проведении численных экспериментов по климатической модели речного стока было выбрано разрешение, соответствующее разрешению в региональной климатической модели ИВМиМГ СО РАН, и составляющее 1/3 градуса по широте и долготе соответственно. Модель речного стока покрывает Сибирский регион по долготе от Урала до Дальнего Востока и по широте от Северного Казахстана до Северного Ледовитого океана.

В настоящей статье обсуждаются результаты расчетов по модели климатического речного стока в бассейне р. Лена. Построение направлений речного, поверхностного и грунтового стоков строилось на основе данных по рельефу и анализа графов стоков по поверхности и в речном русле (рис.1).

Был проведен анализ данных по изменению климатических и гидрологических характеристик бассейна р. Лена во второй половине XX века и численные расчеты по моделированию межгодовой изменчивости стока реки Лена на основе данных реанализа NCEP/NCAR и ERA40 для периода 1958-2001 гг.

Были рассчитаны коэффициенты корреляции между годовым влагонаполнением (осадки минус испарение плюс таяние снега) бассейна реки Лена по

данным реанализов и рассчитанными годовыми стоками для периода 1958–2001 гг. Коэффициенты корреляции составляют для реанализа NCEP/NCAR - 0,94 и для реанализа ERA40 – 0,93.

Рассчитаны коэффициенты корреляции между среднеклиматическим внутригодовым влагонаполнением бассейна реки Лена и среднеклиматическими данными годового гидрографа на основе измерений со сдвигом по фазе 1 месяц. Коэффициенты корреляции для данных реанализа NCEP/NCAR составляет 0,57, а для ERA40 – 0,91.

В результате расчетов сравнение с гидрологическими данными на створе Лена-Кюсюр для среднеклиматического годового стока дает отличие в амплитуде для данных реанализа NCEP/NCAR – 25%, а для ERA40 – 14%. Данные среднеклиматического годового гидрографа NCEP/NCAR дает отличие в амплитуде наступления весеннего паводка – 15% с запаздыванием на 1 месяц. Годовой гидрограф для данных реанализа ERA40 по амплитуде и фазе наступления весеннего паводка совпадает с данными среднеклиматического годового гидрографа (рис. 2). Коэффициенты корреляции годовых гидрографов с данными наблюдений для реанализа NCEP/NCAR составляет 0,83, а для реанализа ERA40 – 0,987. Межгодовая изменчивость годовых стоков имеет большие отличия между модельными стоками и данными наблюдений. Причем амплитуда отклонений для данных NCEP/NCAR существенно выше, чем для данных ERA40 (рис. 3).

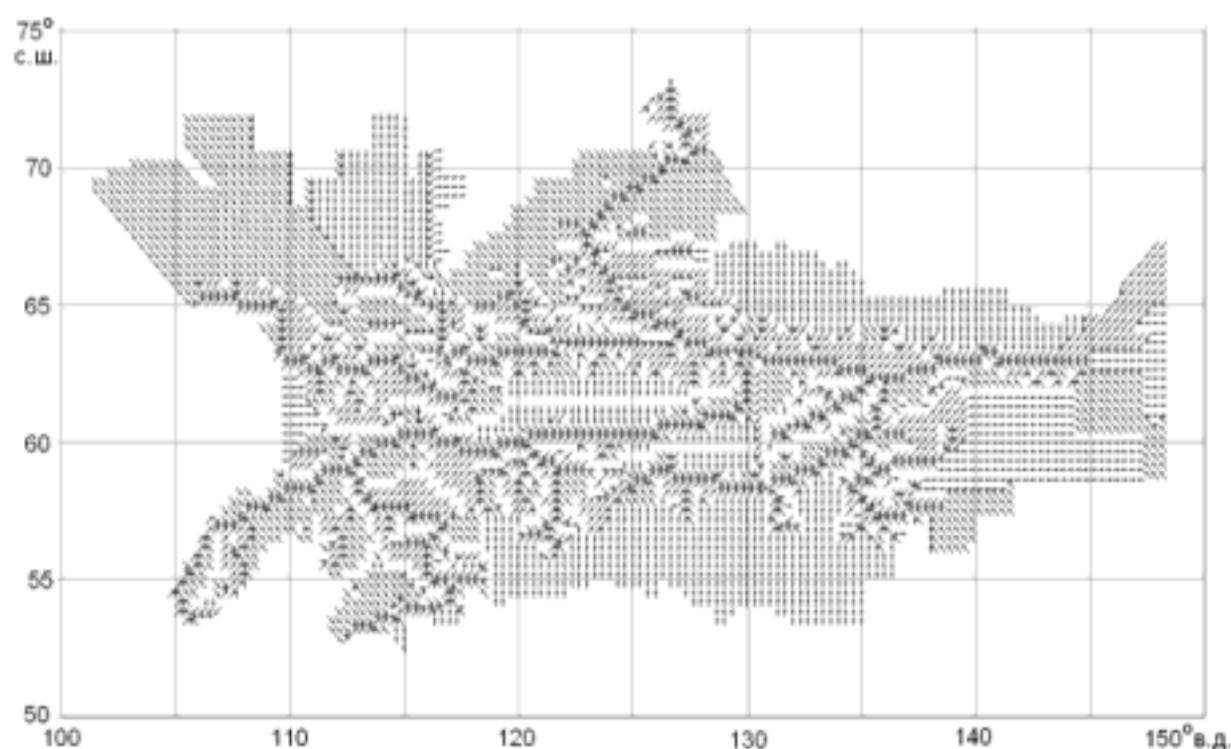


Рис. 1. Схема речного, поверхностного и грунтового стоков бассейна реки Лена

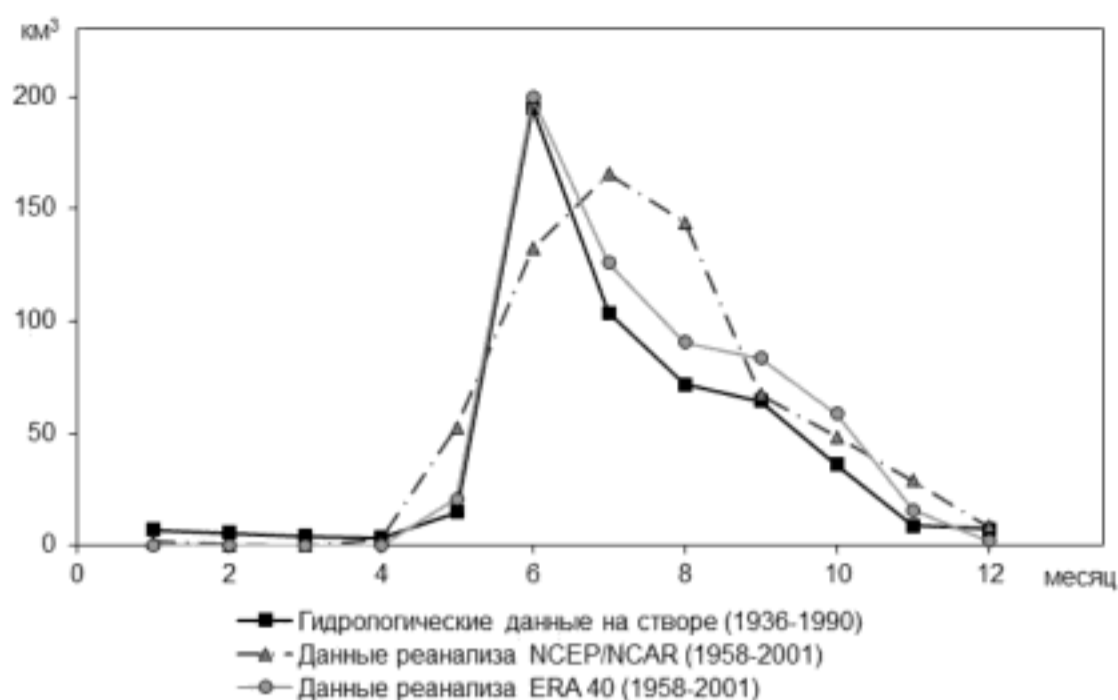


Рис. 2. Среднеклиматические годовые гидрографы по данным реанализов NCEP/NCAR, ERA40 и данным на створе Лена-Кюсюр



Рис. 3. Годовые стоки по данным реанализов NCEP/NCAR, ERA40 и данным на створе Лена-Кюсюр за период 1958 – 2001 гг.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Zhang T., Barry R.G., Knowles K., Heginbottom J.A., Brown J. Statistics and characteristics of permafrost and ground-ice distribution in the Northern Hemisphere // *Polar Geogr.*, 23(2), 132-154, 1999.
2. Shiklomanov I.A., Shiklomanov A.I., Lammers R.B., Peterson B.J., Vorosmarty C.J. The dynamics of river water inflow to the Arctic Ocean // in *The Freshwater Budget of the Arctic Ocean: Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop*, edited by E.L. Lewis et al., pp. 281-296, Kluwer Acad., Norwell, Mass., 2000.

3. Ye B., Yang D., Kane D.L. Changes in Lena River streamflow hydrology: Human impacts versus natural variations // *Water resources research*, vol. 39, No. 7, 1200, doi: 10.1029/2003WR00191, 2003. SWC 8 (1-13)
4. Yang D., Kane D.L., Hinzman L.D., Zhang X., Zhang T., Ye H. Siberian Lena River hydrologic regime and recent change // *Journal of Geophysical research*, vol. 107, No. D23, 4694, doi: 10.1029/2002JD002542, 2002. ACL 14 (1-10).
5. Бураков Д.А. К оценке параметров линейных моделей стока // *Метеорология и гидрология*. – 1989. - № 10, с. 89-95.
6. Кучмент Л.С. Математическое моделирование речного стока. - Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 190 с.
7. Hagemann S., Dumenil L. Hydrological discharge model // *Technical report No 17*, MPI, Hamburg. 1998. 42 p.
8. Кузин В. И., Лаптева Н.М. Математическое моделирование климатического речного стока из Обь-Иртышского бассейна // *Оптика атмосферы и океана*. – 2012. Т. 25. № 06. С. 539–543.

© В.И. Кузин, Н.А. Лаптева, 2013