

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОКА ДЛЯ ДЕЛЬТЫ РЕКИ ЛЕНА

Виктор Иванович Кузин

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий 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, e-mail: lapteva@vector.nsc.ru

В статье обсуждаются результаты расчетов по линейной резервуарной модели климатического речного стока с разрешением 3×1 минуты по долготе и широте соответственно для дельты реки Лена. Работа является продолжением исследований для моделирования стока рек Сибирского региона. В качестве исходных данных для численного моделирования стока дельты реки Лена использовались данные реанализов ERA40 и MERRA.

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

MODELING FOR RUNOFF LENA RIVER DELTA

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, Russia, Novosibirsk, prospect Akademika Lavrentjeva, 6, junior Researcher, tel. (383)330-64-50, e-mail: lapteva@vector.nsc.ru

The article discusses the results of calculations by the linear reservoir model climate streamflows resolution of 3×1 minutes in longitude and latitude, respectively, for the delta of the Lena River. This is a continuation of studies for modeling runoff Siberian region. As the initial data for numerical modeling of flow Lena River delta, data ERA40 reanalysis and MERRA.

Key words: Mathematical modeling, climatic river runoff, Lena river delta basin.

Дельта реки Лена — одна из самых больших речных дельт в мире общей площадью 45 тыс. км². Начинается примерно в 150 км от моря Лаптевых. Ее началом считается остров Столб, у отрогов Хараулахского хребта. Гидроморфология дельты, находящейся в зоне залегания многолетней мерзлоты [1], характеризуется не поддающимся оценке количеством островов, проток и озёр на низких, затопляемых во время разлива территориях, постоянно меняющих очертания. Наиболее важными являются

три главные протоки: самая западная — Оленёкская, средняя — Трофимовская и восточная — Быковская. Все они судоходны, но наибольшее значение имеет Быковская длиной 130 км, по которой суда подходят к бухте Тикси.

Кроме того, дельта Лены представляет собой важный гидрофизический элемент всего бассейна реки, где происходят своеобразные физико-химические процессы, влияющие в результате на гидрофизическое состояние шельфовой зоны моря Лаптевых. К таким процессам можно отнести термическое и соленостное взаимодействие речных и шельфовых вод, а также процессы седиментации приносимого рекой материала.

В работе В.В.Иванова и др. [2] на рядах данных до 1995 г. показано следующее процентное распределение годового стока по протокам: главное русло — 100%, Оленекская — 6,8%, Туматская — 6,4%, Трофимовская — 61,5%, Быковская — 25,3%. В Сардахско-Трофимовском узле разветвления для периода открытого русла приведено следующее соотношение: Трофимовская — 20-26%, Сардахская — 33-23%. При выполнении анализа рядов данных до 2005 г. [3] выяснилось, что процентное распределение годового стока воды по протокам слабо меняется в узком диапазоне не более 5%. В Быковской протоке доля стока изменяется от 23,2 до 26,5%, в Трофимовской — от 59,7 до 64,2%, в Туматской — от 4,9 до 7,5%, в Оленекской — от 5,6 до 9,5%.

В настоящей работе проведена адаптация линейной резервуарной модели климатического речного стока для пяти проток дельты р. Лена: Оленекской, Туматской, Сардахско-Трофимовской и Быковской [4]. Для этого был разработан рельеф и схема стока по протокам для дельты реки Лена с разрешением 3*1 минуты (около 1.8*1.8 км) по долготе и широте соответственно (рис. 1.)

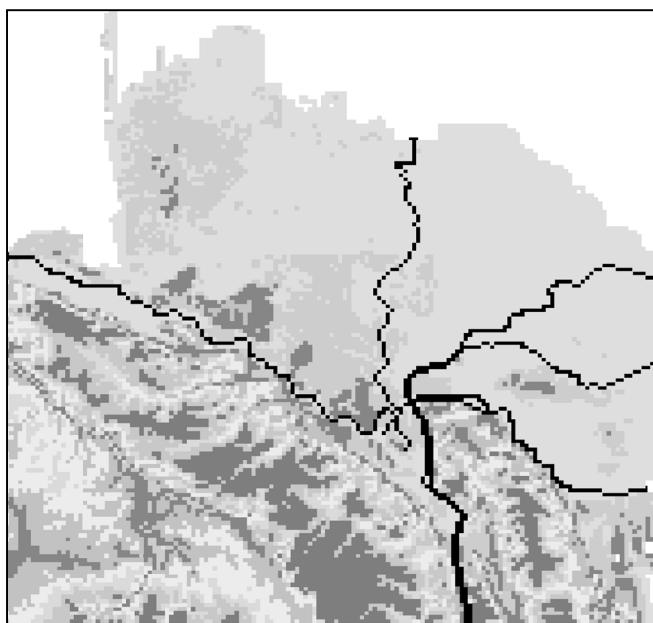


Рис. 1. Рельеф и схема стока в дельте реки Лена с разрешением 1*3 минуты по долготе и широте соответственно

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.

В настоящем разделе обсуждаются результаты расчетов по модели климатического речного стока в бассейне дельты реки Лена.

В качестве начального этапа 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 ERA40 для периода 1958-2001 гг. и MERRA для 1980-2011 гг. Данные расчетов по модели стока р. Лена на створе пункта о. Столб были использованы как исходные данные для расчетов в дельте р. Лена.

Построение направлений речного, поверхностного и грунтового стоков проведено на основе данных по рельефу и анализа графов стоков в речном русле. В табл. 1 приведено процентное разделение годового стока по пяти основным протокам: Оленекская, Туматская, Трофимовская, Сардахская, Быковская на основе современных гидрологических оценок, а также результаты моделирования стоков в устьях протоков на основе данных на основе модели.

На рис. 2 представлены среднеклиматические годовые гидрографы стока по дельте р. Лена на примере Быковской протоки. Для сравнения приведены гидрографы на створе о. Столб. Можно отметить, что при прохождении по протоке происходит запаздывание весеннего паводка на месяц. При этом форма пика паводка по данным ERA40 в точности повторяет форму пика в исходной точке на о. Столб, в то время как для данных MERRA происходит

расширение пика половодья к раннему периоду года при сохранении фазы наступления максимума. Это, по-видимому, связано с более ранним таянием снега в данных MERRA. Для остальных проток поведение гидрографов с точностью до величины стоков аналогично.

Таблица 1

Доли стока воды по водотоку в % от общего стока реки.

Протоки	Оленекская	Туматская	Трофимовская	Сардахская	Быковская
Доля разделения стока воды по протокам	6,8	6,4	24,6	36,9	25,3
Результаты моделирования стоков в устьях					
ERA40	6,927	6,457	24,535	36,806	25,276
MERRA	6,844	6,420	24,580	36,866	25,291

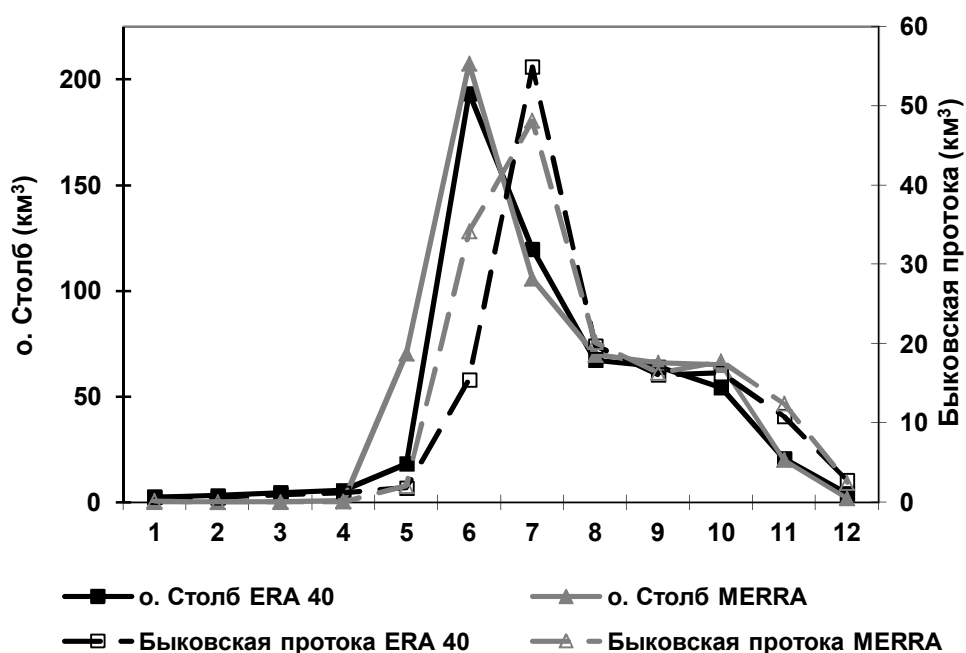


Рис. 2. Сток в дельте р. Лена по Быковской протоке в сравнении со стоком на створе о. Столб

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ № 14-05-00730, ИП СО РАН 109.

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. Иванов В.В., Пискун А.А., Корабель Р.А. Распределение стока по основным рукавам дельты Лены // Труды ордена Ленина Арктического научно-исследовательского института. Т. 378. – Л.: Гидрометеиздат. – 1983.
3. Большианов Д.Ю., Макаров А.С., Федорова И.В., Жиров А.И. Гидроморфогенез дельты р. Лены // Доклад на двадцать третьем пленарном межвузовском координационном совещании по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. – Калуга, 8-10 октября 2008 г. – С. 56-68.
4. Кузин В. И., Лаптева Н. А. Математическое моделирование стока из бассейна реки Лена // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 2. – С. 3–7.
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, 2014