

УДК 556.16.048

## **ТРАНСФОРМАЦИЯ РЕЧНОГО СТОКА Р. НЕВЫ ВСЛЕДСТВИЕ ЕГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЛАДОЖСКИМ ОЗЕРОМ**

**Журавлев С.А.**

*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия, e-mail: hydromod@gmail.com*

Статья посвящена вопросу регулирования гидрографа стока р. Невы Ладожским озером. В основе метода исследования лежит уравнение водного баланса регулирующего водоема. Расчеты гидрографов притока и оттока проводились для суточных интервалов времени. В качестве исходных данных о притоке и оттоке из озера использовалась информация по гидрологическим постам за период 1971–1981 гг. Расчет гидрографа притока в Ладожское озеро с площади, не охваченной данными наблюдений, проводился с помощью модели «Гидрограф». Проведена оценка степени регулирования гидрографа стока р. Невы. Определены коэффициенты трансформации максимального притока и сдвиг даты прохождения максимальных расходов воды в результате озерного регулирования.

Ключевые слова: сток р. Невы, озерное регулирование стока, водный баланс озера.

## **THE TRANSFORMATION OF RIV. NEVA RUNOFF AS A RESULT OF LAKE LADOGA FLOOD REGULATION**

Zhuravlev S.A.

*Saint-Petersburg University, Saint-Petersburg, Russia, e-mail: hydromod@gmail.com*

The article is devoted to the problem of the Neva river runoff transformation as a result of Lake Ladoga flood regulation. The basis of the investigation is water balance equation of lake that was applied at a daily time interval. The input data that was used in order to estimate Ladoga inflow and outflow includes data from hydrologic water monitoring stations. The inflow from the ungauged area is estimated by the model «Hydrograph». The rate of the Neva river runoff regulation is estimated. The coefficients of maximum discharges transformation and the increasing of the time before the peak flow passes are calculated.

Key words: the Neva river runoff, runoff flood regulation, lake water balance.

### **Введение**

Река Нева – крупнейший водоток Северо-Запада России – имеет существенно зарегулированный сток, обусловленный, прежде всего, влиянием Ладожского озера. Эффект озерного регулирования сильнее всего проявляется на экстремальных характеристиках речного стока. Наибольшему изменению подвергаются максимальные расходы воды весеннего половодья, при этом трансформация стока озером приводит как к уменьшению абсолютных величин максимальных расходов, так и к смещению во времени дат прохождения пиков половодья и паводков.

Исследования, посвященные озерному регулированию речного стока, проводились ранее рядом гидрологов [4; 6]. При этом в качестве входных данных обычно используются ряды средних месячных расходов воды. В данной статье расчеты степени

зарегулированности стока р. Невы проведены на основе данных о суточных расходах воды.

### **Объект исследований**

Внутригодовое распределение стока р. Невы определяется колебаниями составляющих уравнения водного баланса Ладожского озера:

$$W_{\text{р.Нева}} = \frac{dW_{\text{Лад.озеро}}}{dt} - E + P + W_{\text{ГЭС}} + W_{\text{бок.приток Лад.}}, \quad (1)$$

где  $W_{\text{р.Нева}}$  – сток р. Нева, п. Новосаратовка;  $dW_{\text{Лад.озеро}}$  – изменение объема Ладожского озера за период времени  $dt$ ;  $E$  – испарение с поверхности озера;  $P$  – осадки на акваторию озера;  $W_{\text{ГЭС}}$  – приток воды в Ладожское озеро за счет сброса воды гидроэлектростанциями на крупнейших притоках Ладожского озера (реки Волхов, Свирь, Вуокса);  $W_{\text{бок.приток Лад.}}$  – боковой приток к Ладожскому озеру;  $W_{\text{бок.прит.Нева}}$  – боковой приток к р. Неве на участке от истока до п. Новосаратовка. Площадь водосбора данного участка составляет ок. 5000 кв. км и включает бассейны рек Тосна (1640 км<sup>2</sup>), Ижора (1000 км<sup>2</sup>), Мга (754 км<sup>2</sup>).

Около 78% притока приходится на сток трех крупнейших рек – р. Волхов, р. Свирь и р. Вуокса. При этом суммарная площадь водохранилищ ГЭС, расположенных на них, составляет 180 тыс. км<sup>2</sup>. Сток данных рек искусственно зарегулирован – внутригодовой ход суммарного стока рек выражен слабо. Существенные изменения стока проявляются на недельных интервалах времени – повышенные сбросы воды осуществляются в будние дни, в выходные дни обеспечивается экологический сток рек. Время добегания расходов воды с трех ГЭС до побережья Ладожского озера изменяется незначительно и при суточном масштабе расчетов может быть принято равным 1 суткам.

Гидрограф бокового притока Ладожского озера без учета рек Волхов, Свирь и Вуокса повторяет типичные гидрографы рек Северо-Запада России. Основные водотоки, имеющие естественный режим: реки Паша, Сясь, Янис-Йоки, Олонка, Видлица, Тулемайоки, Уксунйоки, Тохмайоки, Хийтолан-Йоки.

### **Методы исследования и исходные данные**

В качестве исходных данных были использованы ряды суточных расходов воды р. Невы и основных притоков Ладожского озера: рр. Волхов, Вуокса, Свирь, Паша, Сясь, Оять, Олонка, Уксун-Йоки, Видлица, Янис-Йоки, Тохма-йоки [2]. Проведенные расчеты притока для бассейна Ладожского озера на 88% основаны на фактическом материале. Для расчета гидрографа стока с неизученной части бассейна (31 тыс. кв. км) была использована модель «Гидрограф» – распределенная модель формирования стока,

разработанная в Государственном гидрологическом институте под руководством проф. Ю.Б. Виноградова [1].

Наблюдения за стоком р. Невы организованы в районе д. Новосаратовка, где проводятся измерения расходов воды. При этом уровенные наблюдения организованы у створа Петрокрепость. Значительное удаление постов друг от друга влияет на тесноту связи кривой «уровень – расход», использование которой без дополнительных поправок (на ледовые условия и боковую приточность) может привести к существенным погрешностям определения стока р. Невы.

Для расчета гидрографа бокового притока к р. Неве на участке от п. Петрокрепость до п. Новосаратовка была также использована моделирующая система «Гидрограф». Расходы воды в истоке из Ладожского озера оценивались по уравнению (2):

$$Q_{\text{ист}}(\tau) = Q_{\text{р.Нева-п.Новосаратовка}}(\tau+1) - Q_{\text{бок.приток}}(\tau), \quad (2)$$

где  $Q_{\text{ист}}(\tau)$  – расход воды р. Невы в створе истока (п. Петрокрепость);  $Q_{\text{р.Нева-п.Новосаратовка}}$  – расход воды р. Невы в створе Новосаратовка;  $Q_{\text{бок.приток}}$  – боковой приток на участке, определенный с помощью модели «Гидрограф».

Характерное время добегания для рек частного бассейна р. Невы и на участке р. Невы от истока до п. Новосаратовка принято постоянным и равным 1 суткам. В результате моделирования и обработки данных гидрологических ежегодников были рассчитаны гидрографы притока в Ладожское озеро и гидрограф стока р. Невы в створе Петрокрепость за период 1970–1981 гг.

### Анализ результатов

Степень изменения характеристик максимального стока вследствие озерного регулирования может выражаться различными коэффициентами и формулами, из которых наиболее простым является коэффициент трансформации  $\alpha$  (коэффициент снижения максимума притока в результате озерного регулирования), определяемый через отношение максимума стока к максимуму притока:

$$\alpha = \frac{Q_{\text{ст}}}{Q_{\text{пр}}}, \quad (3)$$

где  $Q_{\text{ст}}$  – расход воды в створе истечения из озера,  $Q_{\text{пр}}$  – приток к озеру.

Сдвиг даты прохождения максимальных расходов воды рассчитывался как разница между датами наступления максимального притока и оттока:

$$\Delta D = D(Q_{\text{от}}) - D(Q_{\text{пр}}). \quad (4)$$

Данная величина зависит от нескольких факторов – прежде всего от дружности весеннего половодья и уровня озера перед его началом.

В таблице 1 приведены основные характеристики максимального суточного притока и оттока для Ладожского озера.

Таблица 1 – Результаты расчетов за 1971–1981 гг.

Год	Макс. сут. приток		Макс. сут. отток		$\alpha$ , б/р	$\Delta D$ , сут.
	Дата	Q, м <sup>3</sup> /с	Дата	Q, м <sup>3</sup> /с		
1971	21 апр.	6321	26 мая	3275	0,52	35
1972	18 апр.	4668	8 мая	2697	0,58	20
1973	4 апр.	3704	17 июня	2397	0,65	74
1974	8 апр.	4312	14 июня	2376	0,55	67
1975	8 апр.	5743	11 июня	3022	0,53	64
1976	6 мая	6824	9 июня	2902	0,43	34
1977	25 апр.	6247	26 мая	2930	0,47	31
1978	21 апр.	6725	14 июня	3038	0,45	54
1979	27 апр.	4289	26 мая	2937	0,68	29
1980	26 апр.	6105	11 июля	2707	0,44	76
1981	7 мая	7113	23 июня	3037	0,43	47
Среднее	20 апр.	5641	7 июня	2847	0,51	48

Среднее для Ладожского озера смещение дат пиковых расходов половодий составляет 48 дней. Средний коэффициент регулирования составляет 0,51 – таким образом, максимальный приток уменьшается в среднем в 2 раза. Исследования, проведенные ранее [3], указывают на тесную связь коэффициента регулирования  $\alpha$ , зарегулированности притока к озеру и величины удельного водосбора озера [б/р]:

$$F_{\text{yo}} = \frac{F_{\text{вдсб.оз}}}{F_{\text{оз}}}, \quad (5)$$

где  $F_{\text{вдсб.оз}}$  – площадь водосбора озера, км<sup>2</sup>;  $F_{\text{оз}}$  – площадь акватории озера, км<sup>2</sup>.

На рис. 1 приведен график соотношений коэффициентов регулирования и величин удельного водосбора для различных систем «озеро – река». Точка, характеризующая систему Ладожское озеро – р. Нева лежит левее и ниже линии, соединяющей озера со слабой естественной зарегулированностью притока (озера Наволок, Ильмень, Коробожа). Это объясняется искусственным регулированием притока в Ладожское озеро. По данному

графику был предварительно оценен коэффициент регулирования до ввода в эксплуатацию ГЭС на основных притоках – его величина находилась в пределах 6,0–7,0.

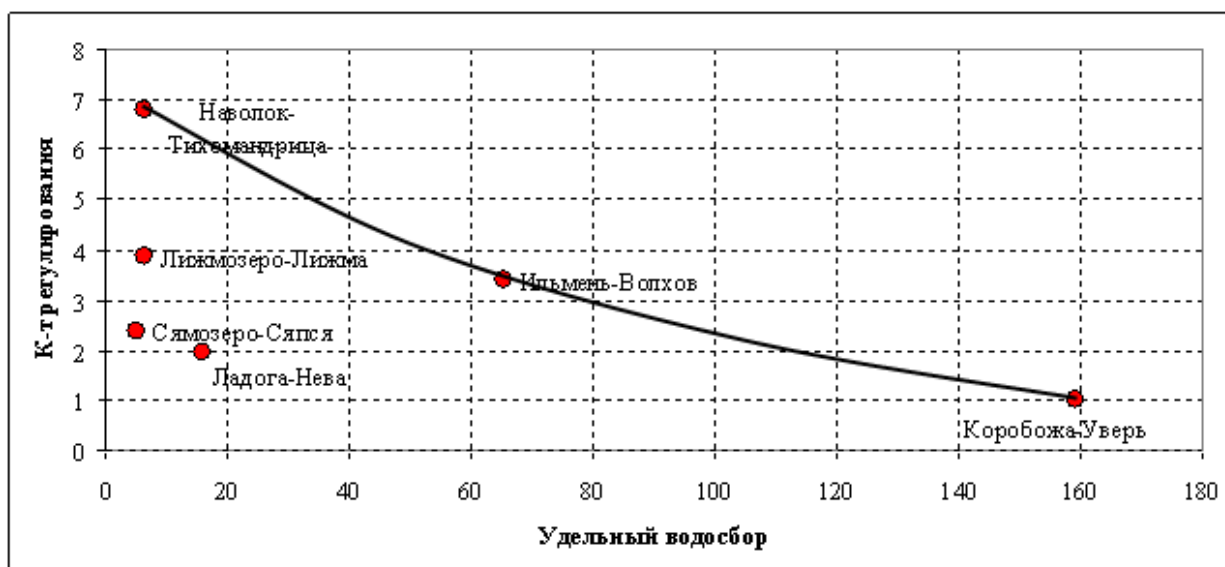


Рис. 1. Связь коэффициента трансформации  $\alpha$  с величиной удельного водосбора для различных озер

На рис. 2 приведены рассчитанные с суточным шагом гидрографы притока к Ладожскому озеру и стока р. Невы в п. Петрокрепость (исток).

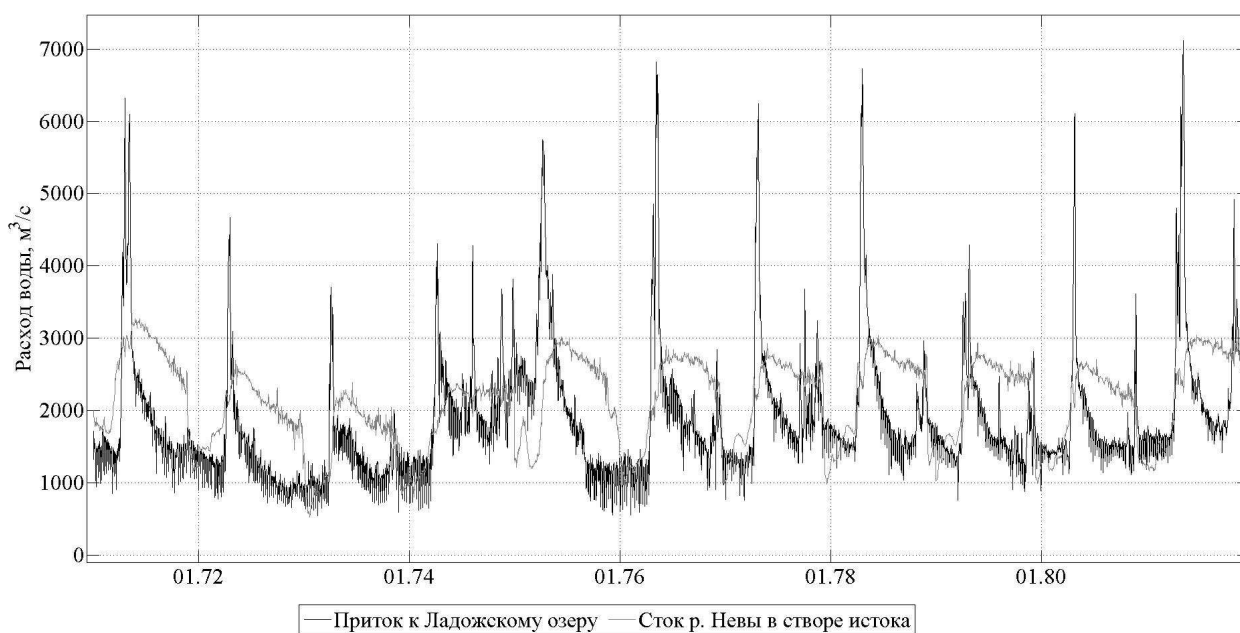


Рис. 2. Гидрографы притока и оттока для Ладожского озера, построенные по суточным данным (1971–1981 гг.)

На рис. 3 гидрографы приведены для одного года (1975).

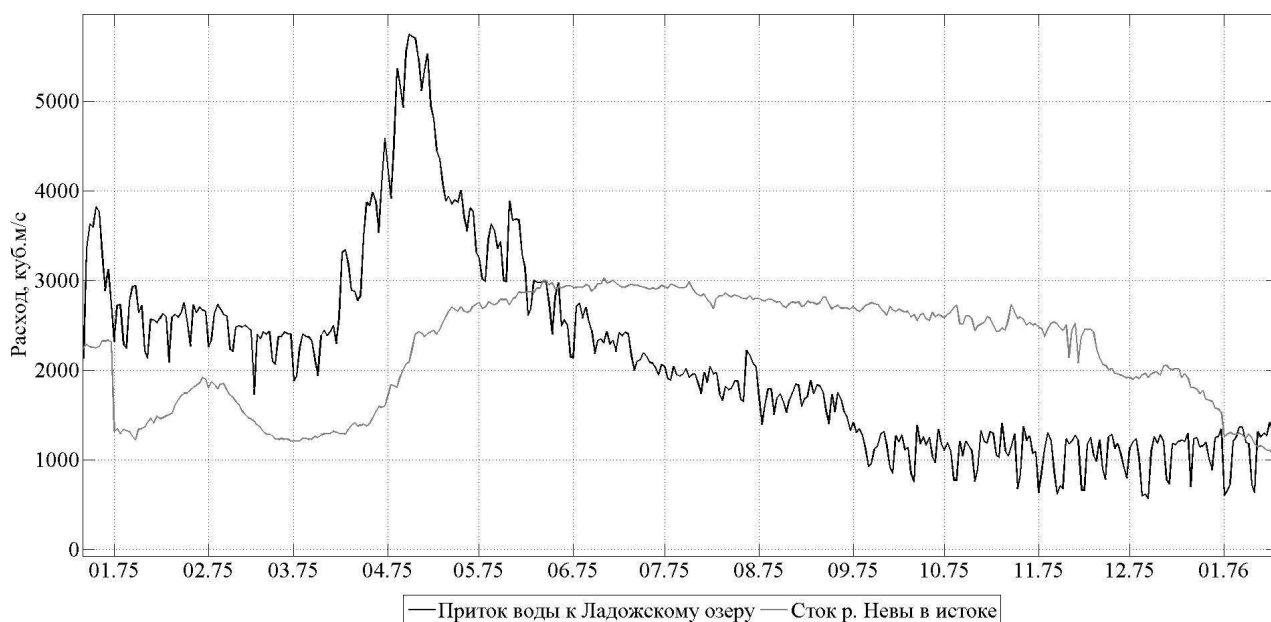


Рис. 3. Гидрограф притока и оттока для Ладожского озера, построенный по суточным данным (1975 г.)

Из представленных гидрографов (рис. 2 и 3) следует, что с точки зрения озерного регулирования стока годовой ход колебаний притока и оттока можно разделить на три интервала. Первый период длится с начала календарного года до даты максимального притока воды (середина апреля), когда коэф-т  $\alpha$  увеличивается с 1–1,5 до 2–2,5. Далее коэф-т регулирования уменьшается до наступления периода летне-осенних паводков, при этом равновесная точка ( $\alpha = 1$ ), приходится, в среднем, на конец мая. В оставшуюся часть года коэффициент  $\alpha$  колеблется в пределах 0,3–1. Резкое изменение соотношения притока и оттока происходит в начале зимнего периода, когда вследствие появления в Шлиссельбургской губе Ладожского озера торосистого льда и шуги резко сокращается площадь живого сечения реки на отмели перед истоком. В этот момент расход воды в Неве уменьшается на 40–60%. Учет ледовых явлений при расчете стока р. Невы требует дополнительных исследований.

### Заключение

Расчеты поверхностного притока и оттока, выполненные для р. Невы, Ладожского озера и его притоков, позволили количественно оценить регулирующее влияние Ладожского озера на максимальный сток р. Невы. Так, сдвиг дат прохождения максимальных расходов р. Невы в период половодья относительно притока в Ладожское озеро изменяется от 20 до 76 суток, в среднем составляя 48 суток. При этом коэффициент регулирования находится в пределах 0,43–0,68, что эквивалентно уменьшению максимальных суточных расходов воды в 1,47–2,33 раза.

### Список литературы

1. Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Математическое моделирование в гидрологии. – М.: Академия, 2010. – 304 с.
2. Гидрологические ежегодники. Бассейн Балтийского и Белого морей. 1971–1981. – Л.: Гидрометеиздат. – Т. 1. – Вып. 0–3.
3. Журавлев С.А. Математическое моделирование формирования стока на примере водосборов различных размеров в пределах бассейна р. Невы // Географические и экологические аспекты гидрологии. – СПб., 2010. – С. 180–187.
4. Мякишева Н.В., Трушевский В.Л. О количественной оценке регулирующей способности Ладожского озера // Вестник ЛГУ. – 1990. – Серия 7. – Вып. 1 (№ 7). – С. 70–81.
5. Нежиховский Р.А. Река Нева и Невская губа. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 112 с.
6. Соколов А.А. Максимальный сток рек с озерным регулированием и методика его расчета // Труды Государственного гидрологического института. – 1955. – Вып. 50. – С. 117–148.

**Рецензенты:**

Лавров С.А., д.т.н., ведущий научный сотрудник, ФГБУ «Государственный гидрологический институт», г. Санкт-Петербург.

Виноградов Ю.Б., д.т.н., профессор, главный научный сотрудник ФГБУ «Государственный гидрологический институт», г. Санкт-Петербург.

**Работа получена 31.08.2011**