

ГИДРОЛОГИЯ

Г.С. Арсеньев, Н.Ю. Дьяченко

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНИВАНИЯ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА В СТВОРЕ САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС НА р. ЕНИСЕЕ

G.S. Arsenyev, N.Yu. Dyachenko

A METHODOLOGY OF ESTIMATION OF LONG-TERM OSCILLATIONS OF THE YENISEI RIVER MAXIMUM RUNOFF AT THE SAYANO-SHUSHENSKAYA HYDROPOWER PLANT

В статье впервые представлена методика оценивания многолетних колебаний максимальных паводочных расходов воды с учетом восстановленных расходов, т.е. приведенных к естественному режиму, за период эксплуатации ГЭС с 1979 по 2006 г.

Ключевые слова: половодье, максимальный сток, водохранилище, уровень воды, интегральная кривая, бьеф.

In this paper, a new methodology of estimation of long-term oscillations of the maximum flood runoff is presented. This methodology includes a procedure of reducing the runoff affected by the hydropower plant to its natural regime in period from 1979 to 2006.

Key words: flood, high runoff, reservoir, water level, integral curve, pool.

Одной из наиболее ответственных задач гидрологии при строительном проектировании гидротехнических объектов и в период их эксплуатации является определение максимальных расходов воды, от точности оценки которых зависит безопасность самих гидротехнических сооружений, а также объектов, находящихся в их нижних бьефах.

Учитывая изменчивость максимального стока во времени, в настоящее время требуется уточнение параметров максимального стока в створах действующих гидротехнических объектов с учетом последних 20–30 лет их эксплуатации [Лобанов, 2002].

Актуальность этих мероприятий подтверждается исследованиями Государственного гидрологического института, которые показали, что в последние два десятилетия в России наметилась тенденция увеличения речного стока. На действующих гидроузлах при этом возникают сложности с восстановлением максимального стока, т. е. с приведением зарегулированных расходов воды к естественному режиму. Наиболее простой метод расчета притока в водохранилище по сумме расходов впадающих в водохранилище рек не срабатывает из-за слабой освещенности водосбора наблюдениями за стоком [Арсеньев, 1993].

Нами проведены расчеты по восстановлению максимальных половодных расходов воды в створе Саяно-Шушенской ГЭС за период ее эксплуатации по расходам стока (ГЭС) с исключением расходов аккумуляции в водохранилище [Арсеньев, 1989]. Расчеты проведены в удобной табличной форме путем реализации уравнения водного баланса водохранилища за расчетный интервал времени Δt :

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{ст}} \pm \frac{\Delta V}{\Delta t},$$

где $Q_{\text{пр}}$ – расход притока; $Q_{\text{ст}}$ – соответствующий расход стока; ΔV – объем положительной или отрицательной аккумуляции, определяемый по разности объемов водохранилища на конец и начало Δt .

В приведенной формуле знак плюс отвечает подъему уровня, т.е. задержанию части притока, а знак минус – спаду уровня, т.е. сработке задержанной в период половодья части объема притока.

Точность расчетов данным методом напрямую зависит от временного интервала осреднения, исключающего случайные ошибки в определении уровней водохранилища.

По данным о ежедневных естественных расходах воды за период с 1936 по 1978 г. выбирались максимальные расходы воды (Q_{max}) за период половодья и рассчитывались максимальные средние пятидневные (Q_5) и десятидневные (Q_{10}) расходы воды. Затем строились связи максимальных и среднеинтервальных расходов воды, приведенные на рис. 1 и 2.

Надежность или теснота связей между максимальными расходами воды и рассчитанными среднеинтервальными расходами воды определялась через коэффициенты корреляции. В результате расчета получены следующие коэффициенты корреляции: для пятидневных максимальных половодных расходов воды – 0,99; для десятидневных максимальных половодных расходов воды – 0,97.

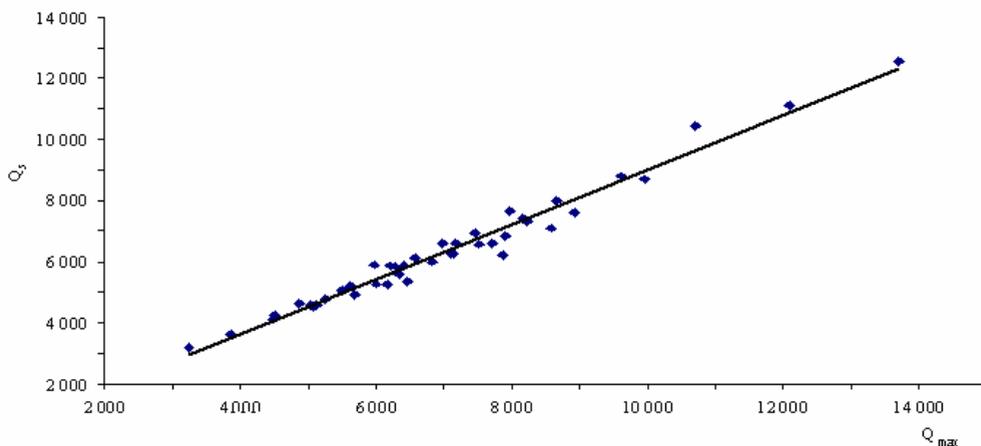


Рис. 1. График связи максимальных и средних пятидневных половодных расходов воды.

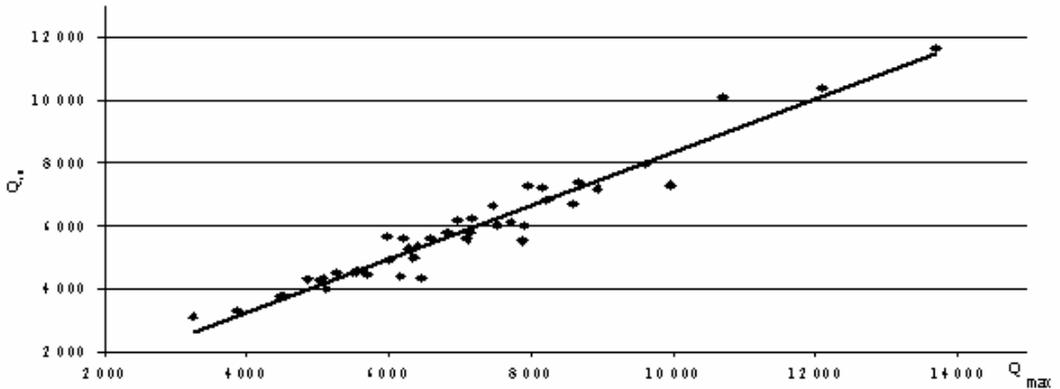


Рис. 2. График связи максимальных и средних десятидневных паводковых расходов воды.

Для восстановления максимальных паводковых расходов воды использовались данные об уровнях воды в верхнем бьефе гидроузла на 8 ч местного времени и ежедневных сбросных расходах воды (расходах ГЭС) за период с 1979 по 2006 г.

Для каждого года периода эксплуатации ГЭС были построены графики уровней воды водохранилища на 8 ч и сбросных расходов за период паводья.

Путем тщательного анализа интенсивности подъема уровня водохранилища и сбросных расходов ГЭС рассчитывался максимальный средний пятидневный и десятидневный восстановленный расход воды. Расчеты производились путем реализации уравнения:

$$Q_5 = Q_{\text{зар}} + \frac{V_{\text{к}} - V_{\text{н}}}{\Delta t},$$

где $Q_{5,10}$ – восстановленный максимальный средний пятидневный или десятидневный расход воды; $Q_{\text{зар}}$ – средний пятидневный или десятидневный зарегулированный (сбросной) расход воды; $V_{\text{к}}$ и $V_{\text{н}}$ – объем водохранилища на конец и начало пятидневки или десятидневки, определенный для соответствующих уровней водохранилища по интерполяционной таблице объемов водохранилища; Δt – число секунд в расчетном интервале ($\Delta t = 5 \cdot 86\,400 = 0,432 \cdot 10^6 \text{ с}$ или $10 \cdot 86\,400 = 0,864 \cdot 10^6 \text{ с}$).

По максимальным средним пяти- или десятидневным паводковым расходам воды с соответствующих графиков на рис. 1 и 2 определялся максимальный восстановленный паводковый расход воды.

Восстановленные максимальные паводковые расходы воды по соответствующим пятидневным и десятидневным расходам сведены в табл. 1.

Таблица 1

Восстановленные максимальные половодные расходы воды по соответствующим пятидневным (Q_5) и десятидневным (Q_{10}) расходам воды

Год	Q_5	Q_{10}									
1979	8100	8500	1986	5400	4000	1993	5900	6300	2000	4600	5150
1980	6800	7000	1987	6300	6400	1994	5400	4100	2001	9000	7500
1981	4800	4300	1988	4800	5900	1995	7400	6200	2002	3800	3100
1982	6800	6000	1989	3800	3700	1996	3600	2950	2003	5000	3550
1983	7700	7400	1990	3000	3150	1997	3400	3400	2004	9300	6300
1984	6400	6250	1991	5700	3350	1998	3900	3800	2005	4700	5600
1985	6800	6300	1992	9000	9500	1999	4700	4500	2006	7900	8850

Максимальный половодный расход в среднем за период 1979–2006 гг. составил $5857 \text{ м}^3/\text{с}$ и $5466 \text{ м}^3/\text{с}$, восстановленный соответственно по пятидневным и десятидневным расходам, т. е. разница составляет около 7 %.

Дальнейшему анализу были подвержены максимальные расходы, восстановленные по максимальным пятисуточным расходам воды.

Максимальный половодный расход воды в среднем за естественный период с 1936 по 1978 г. составляет $7056 \text{ м}^3/\text{с}$. Таким образом, восстановленный период по водности оказался на 17–22 % ниже. На протяжении естественного периода (1936–1978 гг.) выдающиеся максимальные расходы воды весенних половодий зарегистрированы в 1936 г. ($13\,700 \text{ м}^3/\text{с}$) и 1966 г. ($12\,100 \text{ м}^3/\text{с}$). В восстановленном периоде (1979–2006 гг.) выдающиеся максимальные половодные расходы получены более низкие. Так, в 2001 и 2004 гг. они составили соответственно 9000 и $9300 \text{ м}^3/\text{с}$.

Основные статистические параметры максимальных половодных расходов воды р. Енисея в створе Саяно-Шушенской ГЭС за различные периоды приведены в табл. 2.

Таблица 2

Основные статистические параметры максимальных половодных расходов воды р. Енисея в створе Саяно-Шушенской ГЭС

Период	\bar{Q}_{max}	C_v	C_s/C_v
1936–1978	7056	0,29	4
1979–2006	5857	0,30	1
1936–2006	6583	0,31	3

Для оценки достоверности восстановленных максимальных расходов воды и их водности использованы две реки-аналога: р. Абакан – с. Улус Райков и р. Туба – п. Бугуртак. Совмещенные хронологические графики максимальных расходов воды р. Енисея и рек-аналогов приведены на рис. 3. Анализ рисунка показывает, что с 1979 по 2006 г. на реках-аналогах также наблюдается пониженная водность.

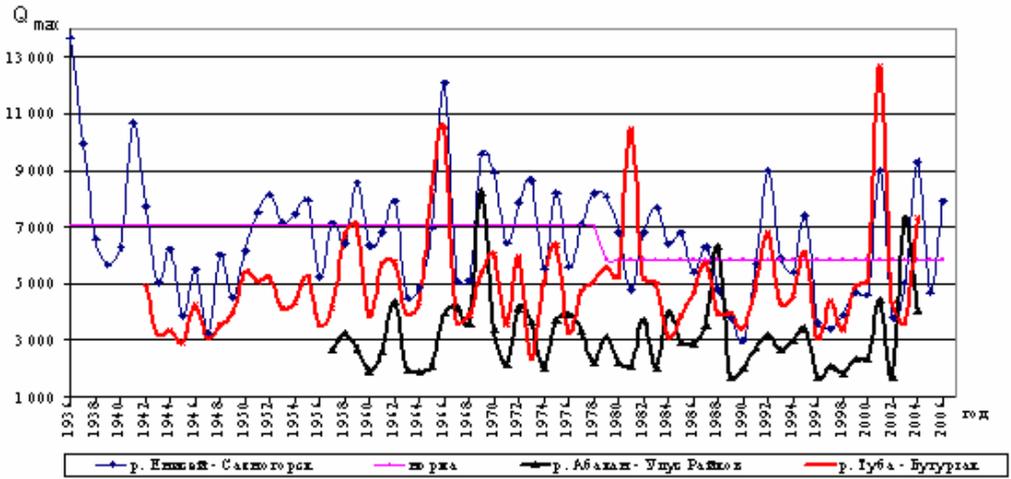


Рис. 3. Максимальные половодные расходы воды за период с 1979 по 2006 г.

Для наглядного предварительного анализа однородности всего ряда наблюдений за стоком была рассчитана и построена интегральная кривая максимальных естественных и восстановленных половодных расходов воды (рис. 4).

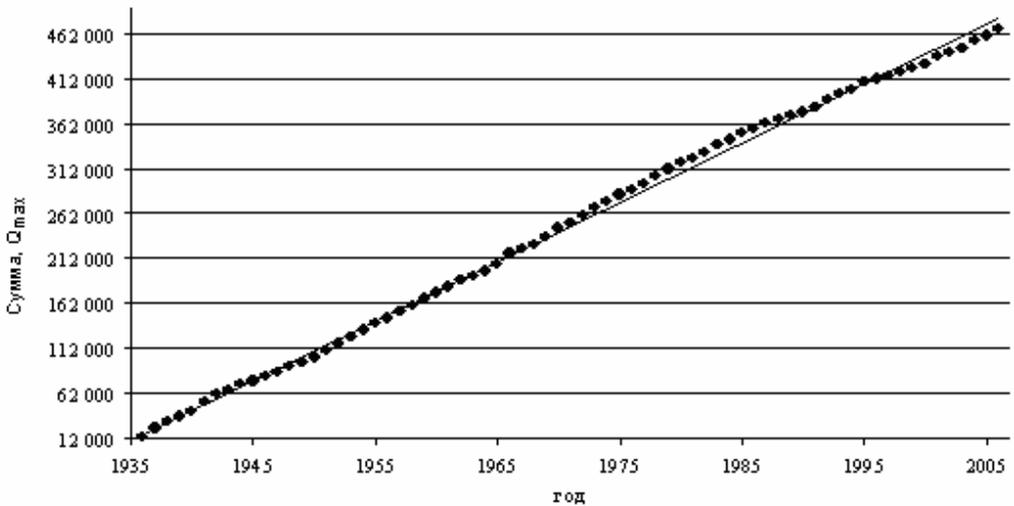


Рис. 4. Интегральная кривая максимальных естественных и восстановленных половодных расходов воды.

Интегральное нарастание максимальных расходов воды, близкое к прямой линии, показывает на однородность восстановленных максимальных расходов воды.

Также произведена оценка статистических параметров (нормы, C_v , C_s) и однородности ряда максимальных половодных расходов воды за период с 1979 по 2006 г. по критериям Стьюдента и Фишера [Сикан, 2007]. В ходе проверки было установлено, что по критерию Стьюдента теория об однородности ряда опровергается, так как естественная фаза оказалась многоводней восстановленной фазы; а по критерию Фишера – не опровергается.

Выводы

1. Восстановленный за период эксплуатации Саяно-Шушенской ГЭС максимальный половодный сток не внес существенных изменений в параметры максимального стока.

2. Дальнейшее уточнение параметров максимального стока следует проводить каждые 10–15 лет.

Литература

1. *Арсеньев Г.С., Иваненко А.Г.* Водное хозяйство и водохозяйственные расчеты. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1993.
2. *Арсеньев Г.С.* Практикум по водному хозяйству и водохозяйственным расчетам. – Л.: изд. ЛГМИ, 1989.
3. *Лобанов В.А., Рождественский А.В.* Оценка безопасности действующих гидротехнических сооружений на основе уточнения расчетных максимальных расходов воды. Доклад. Международный симпозиум «Гидравлические и гидрологические аспекты надежности и безопасности гидротехнических сооружений». – СПб., 2002.
4. *Сикан А.В.* Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. – СПб.: изд. РГГМУ, 2007.