

И.В. Германов

РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНЫХ ЗАТОРНЫХ УРОВНЕЙ ВОДЫ ДЛЯ НЕИЗУЧЕННЫХ УЧАСТКОВ РЕК СЕВЕРА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

I. V. Germanov

THE COMPUTATION OF THE MAXIMUM ICE JAM WATER LEVELS FOR UNEXPLORED AREAS OF THE RIVERS OF THE NORTH OF EUROPEAN RUSSIA

В работе представлена методика расчета максимальных заторных уровней воды, которую можно использовать для неизученных участков рек Севера Европейской территории России.

Ключевые слова: затор льда, заторная поправка, максимальные уровни и расходы воды, обеспеченность, Север ЕТР.

The paper presents a method of computation of maximum ice jam levels, which can be used for unexplored areas of the rivers of the north of European Russia.

Key words: ice jam, ice jam amendment, maximum levels and water discharges, probability, north of European Russia.

Определение максимального расхода воды Q_{\max} заданной обеспеченности не всегда является конечной целью инженерно-гидрологических расчетов. В большинстве случаев $Q_{\max, p\%}$ является промежуточной величиной, и с учетом нужд практики осуществляется переход от $Q_{\max, p\%}$ к уровню $H_{\max, p\%}$ по построенной тем или иным путем кривой расходов $Q = f(H)$. Для проектных створов на неизученных реках, согласно [6], кривая расходов рассчитывается по уравнению Шези-Маннинга, используя данные, полученные в ходе полевых работ:

$$Q = \frac{\omega}{n} h^{2/3} I^{1/2}, \quad (1)$$

где Q — расход воды; ω — площадь поперечного сечения; h — средняя глубина потока; I — уклон водной поверхности; n — коэффициент шероховатости.

Уровни воды рек зависят от совокупности факторов, которые в свою очередь изменяются в зависимости от природной зоны, в которой формируется речной сток, орографических особенностей территории, типа внутригодового распределения стока,

размера рек, морфодинамического типа русла и его морфологических особенностей, наличия или отсутствия водохранилищ, типа регулирования стока [1].

Для многих средних и больших рек Севера Европейской территории России (далее ЕТР) характерно кратковременное повышение уровня воды в период весеннего половодья, вызванное заторами льда. Важно отметить, что увеличение H , при формировании затора, не связано с возрастанием Q . Поэтому уровни, рассчитанные по кривой $Q=f(H)$ через расходы воды $Q_{p\%}$, могут быть, намного меньше заторных. Наиболее значительные подъемы уровня воды и высокая повторяемость заторов характерны именно для северных рек из-за неодновременности их вскрытия, прочности льда, интенсивного снеготаяния и больших расходов воды в период половодья. Неодновременность вскрытия больших и средних рек Севера ЕТР зависит от того, что они пересекают несколько климатических зон, т.к. температурный режим (начало весеннего вскрытия) изменяется по длине реки. А так как большинство рек Севера ЕТР течет с юга на север, это усугубляет процессы заторообразования [4]. В работе [1] отмечено, что для рек исследуемого района заторная составляющая уровня воды $\Delta H_{\text{затор}}$ изменяется от 10 до 60 %, причем влияние этого процесса на уровни воды ограничено одной-двумя неделями в году.

Согласно предложению В.А. Бузина [2], максимальный заторный уровень (далее МЗУ) можно представить в виде суммы уровня H_Q , соответствующего расходу воды в момент вскрытия реки в условиях свободного ото льда русла, и превышения над ним $\Delta H_{\text{затор}}$. Такой подход позволяет выполнять расчет и в тех случаях, когда скопление льда не формируется на расчетном участке реки. В работе [3] рассматривается метод расчета МЗУ рек Севера ЕТР по кривой $Q_{\text{max}}=f(H_{\text{max}})$ с учетом $\Delta H_{\text{затор}}$. Для створов на заторных участках рек Севера ЕТР строились кривые $Q_{\text{max}}=f(H_{\text{max}})$ с использованием максимальных расходов воды весеннего половодья. Было отмечено, что уровни, сформировавшиеся вследствие заторов, расположились выше кривой расходов при свободном состоянии русла. Предлагается для этих участков рек вводить заторную поправку $\Delta H_{\text{затор}}$. В качестве $\Delta H_{\text{затор}}$ можно принять среднее отклонение заторных уровней от кривой расходов при свободном состоянии русла реки. На рис. 1, в качестве примера, представлена кривая $Q_{\text{max}}=f(H_{\text{max}})$ для р. Яренги в створе д. Тохта.

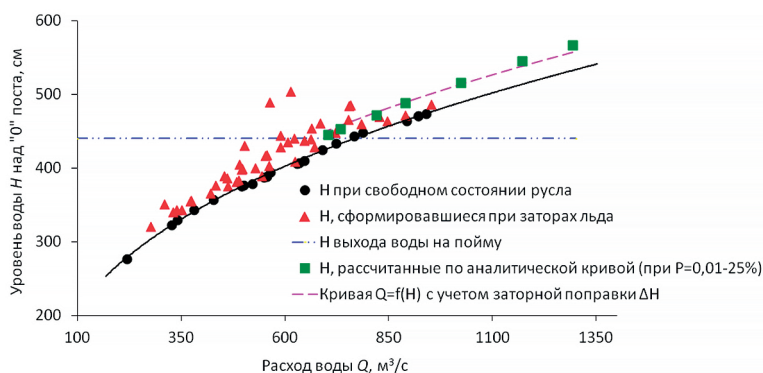


Рис. 1 Кривая $Q_{\text{max}}=f(H_{\text{max}})$ для р. Яренги в створе д. Тохта

Аналогичным способом были построены кривые зависимости $Q_{\max} = f(H_{\max})$ для 41 заторного участка рек Севера ЕТР. Схема расположения постов представлена на рис. 2.



Рис. 2. Пункты гидрологических наблюдений (треугольники) на Севере ЕТР

В результате анализа исходных данных и исследуемых кривых расходов воды были получены $\Delta H_{\text{затор}}$. Результаты расчетов МЗУ показали, что если использовать кривую $Q_{\max} = f(H_{\max})$ для свободного состояния русла реки с поправкой $\Delta H_{\text{затор}}$, то расчетные уровни практически совпадают с уровнями, полученными по кривой обеспеченностей.

Ранее автором было установлено, что для некоторых участков рек Северо-Запада РФ поправка $\Delta H_{\text{затор}}$ зависит от величины среднемноголетней амплитуды колебаний уровней воды A (коэффициент корреляции равен 0,96). В свою очередь A зависит от водности реки, а также от морфометрии ее долины. Например, для средних рек с врезаемым руслом и крутыми высокими берегами характерны значительные колебания уровней воды даже при небольших максимальных расходах. И, наоборот, для больших рек с большими расходами воды и значительной площадью водосбора характерны незначительные колебания A , что объясняется характером долины.

По полученным данным, для заторных участков рек Севера ЕТР была построена зависимость $\Delta H_{\text{затоп}} = f(A)$. Связь получилась слабая (коэффициент корреляции — 0,33). Возможно, это объясняется существенным различием размеров площадей водосборов F рек. Многолетняя амплитуда колебаний уровня воды средних рек ($2000 < F < 50\,000$ км²) составляет, как правило, $4 \div 7$ м, больших рек ($F > 50\,000$ км²) — $8 \div 12$ м. При прочих равных условиях несколько большими колебаниями уровней отличаются горные реки. Заметно повышена A на Северо-Востоке ЕТР, где толщина льда перед вскрытием рек на 58 % больше, чем Юго-Западе ЕТР [4].

Для повышения качества связи $\Delta H_{\text{затоп}} = f(A)$ было выполнено районирование исследуемой территории по условиям формирования МЗУ воды. Для этой цели использовался кластерный анализ, который позволяет в достаточной степени формализовать процедуру выделения однородных районов. В качестве метода для объединения объектов в кластеры использовался метод k -средних.

При разбиении совокупности данных на кластеры в качестве признаков использовались координаты постов (долгота и широта в частях градусов), заторные поправки $\Delta H_{\text{затоп}}$, средняя многолетняя толщина льда перед вскрытием рек, повторяемость заторов (в %) и среднемноголетние амплитуды колебаний уровней воды.

Для проведения кластерного анализа все исходные данные были нормированы по формуле:

$$X_{i\text{норм}} = \frac{X_i - X}{\sigma_X}. \quad (2)$$

Нормированные ряды признаков имеют нулевое среднее значение и единичную дисперсию. Наилучший результат пространственного объединения объектов получен, как видно из рис. 3, при четырех кластерах и шести признаках. На рис. 4 представлена карта, на которой выделены 4 однородных района по условиям формирования МЗУ рек Севера ЕТР в период весеннего половодья.

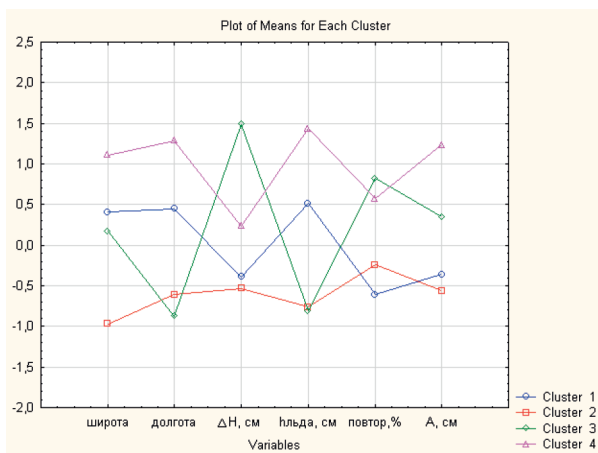


Рис. 3. Результаты кластеризации МЗУ рек Севера ЕТР при 4-х кластерах и 6-ти признаках

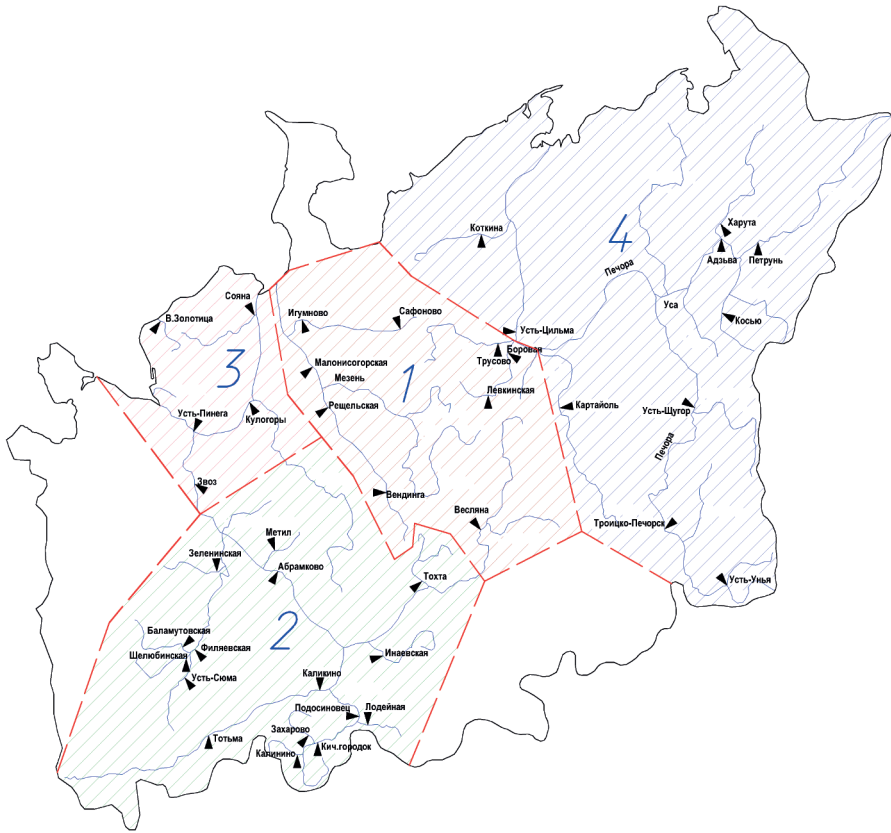


Рис. 4. Однородные районы по условиям формирования МЗУ рек Севера ЕТР в период весеннего половодья

Для каждого однородного района были построены зависимости $\Delta H_{\text{затоп}} = f(A)$. Полученные зависимости являются достаточно надежными (коэффициенты корреляции 0,74–0,80).

На основе проведенных исследований была разработана территориальная методика расчета максимальных заторных уровней воды при отсутствии данных наблюдений на реках Севера ЕТР, основанная на районных зависимостях $\Delta H_{\text{затоп}} = f(A)$.

Схема расчета выглядит следующим образом:

1. По результатам полевых исследований, строится поперечный профиль реки и гидравлическим методом рассчитываются координаты кривой $Q = f(H)$.
2. По редукционной формуле [5] рассчитывается максимальный расход весеннего половодья заданной обеспеченности.
3. По методике, рекомендуемой [6], определяется минимальный зимний 30-ти суточный расход 50 %-ной обеспеченности $Q_{\text{min } 50\%}$.
4. По кривой расходов определяются: $H_{\text{min } 50\%}$ и $H_{\text{max } 50\%}$.

5. Рассчитывается средняя амплитуда: $A = H_{\max 50\%} - H_{\min 50\%}$ (рис. 5).
6. По кривой $Q = f(H)$ определяется расчетный максимальный уровень $H_{p\%}$ для свободного состояния русла.
7. По зависимости $\Delta H_{\text{затор}} = f(A)$ уточняется заторная поправка $\Delta H_{\text{затор}}$.
8. Рассчитывается максимальный заторный уровень: $H_{\text{затор}, p\%} = H_{p\%} + \Delta H_{\text{затор}}$, где $\Delta H_{\text{затор}} = f(A)$.

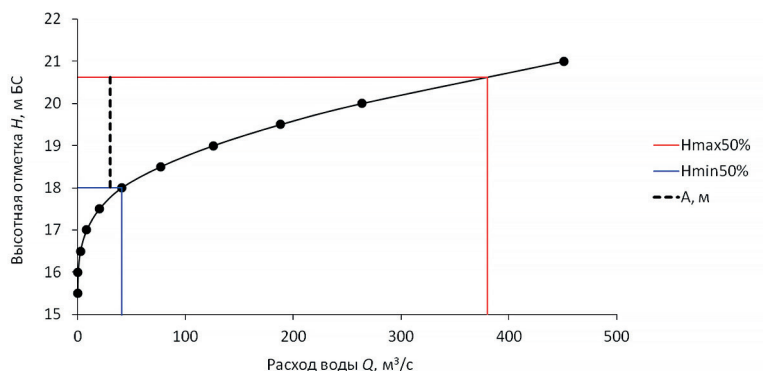


Рис. 5. Схема определения средней амплитуды

Для Севера ЕТР получены следующие зависимости:

- I район: $\Delta H_{\text{затор}} = 0,0950A + 4,194$ при $r = 0,77$;
 II район: $\Delta H_{\text{затор}} = 0,1409A - 19,197$ при $r = 0,78$;
 III район: $\Delta H_{\text{затор}} = 0,0980A + 35,061$ при $r = 0,80$;
 IV район: $\Delta H_{\text{затор}} = 0,1380A - 1,9557$ при $r = 0,74$.

Предложенные формулы можно рекомендовать для расчета максимальных заторных уровней воды рек Севера ЕТР при отсутствии данных гидрометрических наблюдений в створе проектирования.

Литература

1. Алексеевский Н.И., Самохин М.А. Пространственно-временная изменчивость уровней воды в руслах рек. // Учёные записки РГГМУ, 2007, № 5, с. 21–28
2. Бузин В.А. Заторы льда и заторные наводнения на реках. — СПб.: Гидрометеиздат, 2004. — 202 с.
3. Германов И.В. Особенности расчета наивысших уровней воды рек Севера Европейской территории России. // Учёные записки РГГМУ, 2014, № 37, с. 9–14.
4. Германов И.В. Расчет толщины ледяного покрова рек Севера ЕТР на основе метеорологических данных. // Учёные записки РГГМУ, 2014, № 33, с. 17–23.
5. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. — СПб.: «Нестор-История», 2009. — 193 с.
6. СП 33-101-2003. Свод правил. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. — М.: Госстрой России, 2004. — 72 с.