



УДК 556.5:627.8

## МАТЕРИАЛЫ ИНЖЕНЕРНО-ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ПРЕГОЛИ. МАКСИМАЛЬНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ УРОВНИ ВОДЫ

В.А. Наумов

## MATERIALS ENGINEERING AND HYDROMETEOROLOGICAL RESEARCH IN THE PREGEL RIVER BASIN. THE MAXIMUM DESIGN WATER LEVELS

V.A. Naumov

**Аннотация.** Показано, что база данных о ежедневных уровнях реки Преголя на ГИС-портале Центра регистра и кадастра, не полная, содержит явные промахи измерений. Указанными оперативными данными можно пользоваться только после сравнения с результатами измерений, приведенными в Автоматизированной информационной системе государственного мониторинга водных объектов или в иных источниках. Получено уравнение линейной регрессии уровней воды реки Преголи в двух створах (город Гвардейск, город Черняховск). Рассчитаны параметры теоретической кривой обеспеченности максимального годового уровня воды реки Преголя в створе города Гвардейска. Найдены максимальные годовые расчетные уровни воды реки Преголя с вероятностями превышения, указанными в своде правил.

**Ключевые слова:** река Преголя; изыскания; максимальные уровни воды; вероятность превышения; теоретическая кривая.

**Abstract.** It is shown that a database of the Pregel river daily levels on the GIS portal of the Central registry and cadastre, is not complete, contains clear mistakes of measurements. The specified operational data can only be used after comparison with the results of the measurements given in the Automated information system of state water monitoring or other sources. The equation of the linear regression of water levels of the river Pregel in two sections (the city of Gvardeysk, city of Chernyakhovsk) was obtained. The theoretical parameters of the annual maximum water level curve of the river Pregel in the target city of Gvardeysk were calculated. The maximum annual estimated water levels of the river Pregel with probabilities of exceedance specified in the rulebook were found

**Keywords:** Pregel river; surveys; maximum water level; exceedance probability; theoretical curve.

### Введение

В соответствии со сводом правил [1] инженерно-гидрометеорологические изыскания для подготовки проектной документации проводят при необходимости контроля опасных гидрометеорологических процессов или для определения гидрологических характеристик водных объектов, достоверная оценка которых требует наблюдений в течение длительного периода; с целью уточнения расчетных гидрологических характеристик. В [1] подчеркивается, что задание на выполнение инженерно-гидрометеорологических изысканий должно содержать требования к расчетной обеспеченности (повторяемости) инженерно-гидрометеорологических характеристик. При этом особо оговаривается, что в программе инженерно-гидрометеорологических изысканий для проектирования объектов капитального строительства повышенного уровня ответственности, а в районах с особо сложными природными условиями и для нормального уровня ответственности следует предусматривать необходимость научного сопровождения работ.

Расчетные расходы и уровни воды гидротехнических сооружений устанавливаются Сводом правил [2] в зависимости от класса сооружений. При проектировании постоянных

речных гидротехнических сооружений расчетные максимальные расходы и уровни воды принимают исходя из ежегодной вероятности превышения (обеспеченности), устанавливаемой в зависимости от класса сооружений для двух расчетных случаев – основного и поверочного по таблице 1 из [2]. При этом расчетные гидрологические характеристики следует определять в соответствии с требованиями [3].

Таблица 1 – Ежегодные вероятности  $P$ , %, превышения расчетных максимальных значений

Расчетные случаи	Классы сооружений			
	I	II	III	IV
Основной	0,1	1,0	3,0	5,0
Поверочный	0,01	0,1	0,5	1,0

В данной статье приведены некоторые результаты исследований автора максимальных уровней воды в реке Преголе, методике определения расчетных значений, заданных в табл. 1 обеспеченностей. Результаты исследований могут быть использованы при проведении инженерно-гидрометеорологических изысканий для строительства гидротехнических и иных сооружений в бассейне реки Преголи.

### Данные о максимальных уровнях реки Преголи

Краткая гидрологическая характеристика реки Преголи приведена в [4]. Основным источником о ежедневных уровнях и расходах рек на территории бывшего СССР являются гидрологические ежегодники (ГЕ), издававшиеся с 1936 года. Данные о ежедневных уровнях воды на реке Преголе и ее притоках публиковались в ГЕ, начиная с 1948 г. [5]. До 1958 года издавался Том 1, бассейн Балтийского моря, выпуск 4-6: бассейн реки Западная Двина и бассейны к западу и югу от государственной границы. Начиная с данных за 1959, год отдельно издавался выпуск 5-6 [6], в который не входили реки Латвии. Начиная с материалов за 1978 г. вместо издававшихся ранее ГЕ издаются "Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши" (ежегодник Государственного водного кадастра); часть 1 – реки и каналы (см., например, [7]). С конца 80-х годов прошлого века доступность статистических гидрологических данных о реках России резко снизилась. Однако, появились возможности использования федеральных интернет-ресурсов [8,9] (см. табл. 2).

Таблица 2 – Сведения о максимальных уровнях на реке Преголя и ее притоках

Река, Гидропост	Расстояние в км от устья реки	Отметка нуля в м балтийской системы	Год открытия гидропоста	Площадь водосбора, тыс. кв. км	Имеются данные о максимальных уровнях в [8]	Имеются данные о максимальных уровнях в [9]
Преголя, Гвардейск	56,0	-5,17	1869	13,6	1990-2011	2008-2013
Преголя, Черняховск	125	3,21	1886	5,21	1995-2011	2008-2013
Анграпа, Берестово	30,0	23,85	1894	2,46	-	2008-2013
Инструч, Ульяново	50,0	13,23	1885	0,587	-	2008-2013
Писса, Зеленый Бор	11,0	20,90	1894	1,36	-	2008-2013

На ГИС-портале Центра регистра и кадастра [8] имеются данные о ежедневных уровнях реки Преголя в двух створах (город Гвардейск, город Черняховск). К сожалению, база данных не полная, содержит явные промахи измерений. Впрочем, имеется

предупреждение: «Используются оперативные данные Росгидромета, не прошедшие контрольную обработку. Могут содержаться ошибки» [8].

Так за 2011 год в створе Гвардейска нет измерений за 15 дней. Имеется 329 общих измерений в двух названных створах, с высоким коэффициентом корреляции  $r = 0,938$  (без сдвига по времени), что позволяет восстановить недостающие значения уровня и обнаружить промахи.

На рис. 1 показаны результаты измерений абсолютного уровня (в Балтийской системе) реки Преголи у Гвардейска в конце июля и в конце декабря 2011 года. В указанное время не было зафиксировано сильного ветра западного направления, который мог привести к нагонным явлениям; в створе Черняховска никаких понижений уровня не наблюдалось. Считаем результаты измерений 25 июля и 20 декабря промахами наблюдений.

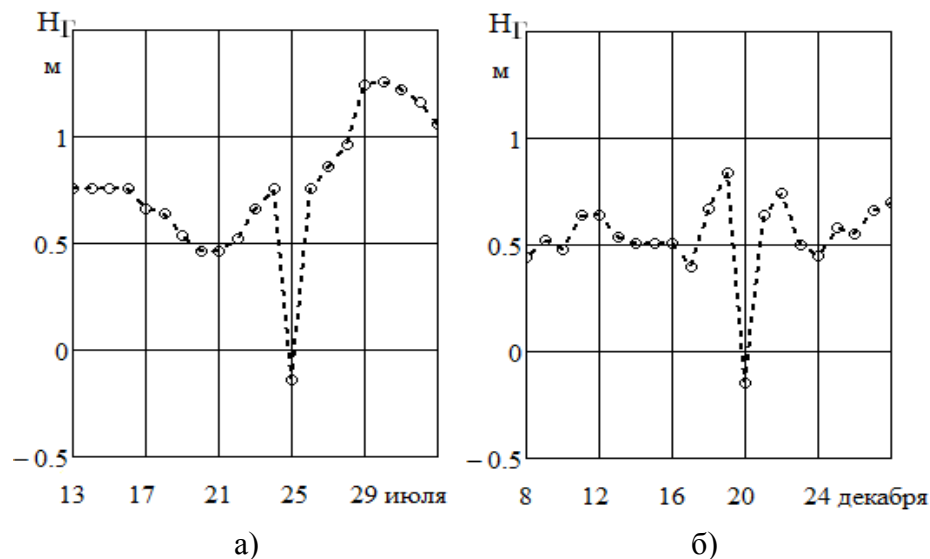


Рисунок 1 – Промахи измерения уровней реки Преголи (Гвардейск) [8] в июле (а) и декабре (б) 2011 года

Уравнение линейной регрессии между уровнями реки Преголи в створах Гвардейска и Черняховска, найденное методом наименьших квадратов по опытным данным (см. рис. 2):

$$H_{\text{ч}}(H_{\text{г}}) = 1,646 \cdot H_{\text{г}} + 6,588. \quad (1)$$

Как видно на рис. 2, уравнения регрессии 2010 г. и 2011 г. различаются незначительно. Аналогичный вывод можно сделать из анализа уровней и других лет.

По данным [8] в 2011 г. наибольший уровень (983 см от условного нуля) был отмечен 9 февраля. Причем накануне уровень был на 0,8 м меньше, на следующий день – на 1,0 м меньше. Тогда как по уточненным данным [9], максимальный уровень был 11.02.2011 и составил 885 см, что почти на метр ниже. Явный промах измерений.

Таким образом, оперативными данными [8] нужно пользоваться с большой осторожностью, а гидрологические характеристики рассчитывать после сравнения с [9]. Правда, как видно из табл. 2, накопление гидрологической информации [9] было начато лишь с 2008 г.

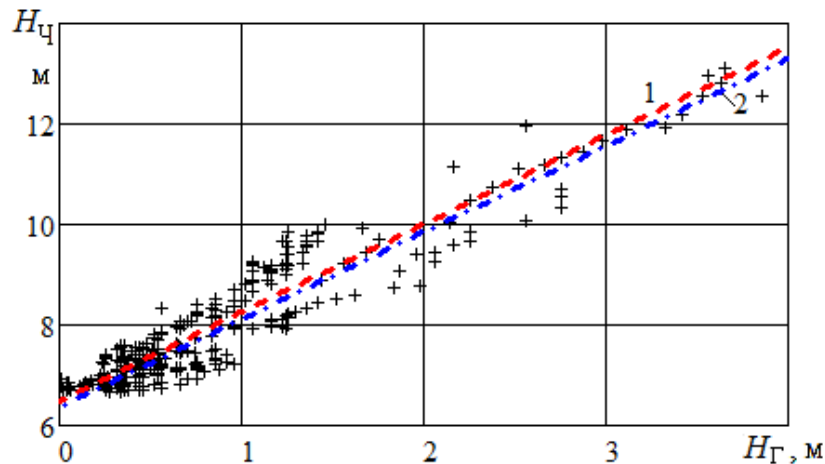


Рисунок 2 – Уровни реки Преголя (створы Гвардейск  $H_G$  и Черняховск  $H_C$ ) в абсолютных отметках балтийской системы, 2011 г. Точки – опытные данные [8]; 1 – по формуле (1); 2 – по уравнению регрессии 2010 года [10]

### Функция распределения и расчетные уровни

Покажем, как найти параметры гамма-распределения (Крицкого-Менкеля [3]) в среде Mathcad. Пусть задан ряд максимальных уровней  $H_1, H_2, \dots, H_n$ . В нашем случае имеем значения с 1948 г. по 2013 г., т. е.  $n = 66$ . Найдем первый параметр – среднее многолетнее значение максимального уровня  $H_s = 2,35$  м БС и модульные коэффициенты  $k_i = H_i / H_s$ .

Вычисляем параметр  $\lambda_2$ , задаем начальное приближение параметров трехпараметрического гамма-распределения  $\alpha$  и  $b$  [3]:

$$\lambda_2 := \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n \ln(k_i) \quad \alpha := 1 \quad b := 1 \quad (2)$$

Два оставшихся параметра гамма-распределения ( $\alpha$  и  $b$ ) находим методом наибольшего правдоподобия, для чего численно решаем систему интегральных уравнений [11] в среде Mathcad с помощью операторов Given-Find [10].

Given

$$\lambda_2 + \ln\left(\frac{\Gamma(\alpha+b)}{\Gamma(\alpha)}\right) - \frac{b}{\Gamma(\alpha)} \cdot \left( \int_0^{\infty} t^{\alpha-1} \cdot \ln(t) \cdot \exp(-t) dt \right) = 0, \quad (3)$$

$$\alpha \cdot \lambda_2 - \left(\frac{\Gamma(\alpha+b)}{\Gamma(\alpha)}\right)^{\frac{1}{b}} \cdot \left[ \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n \left[ \ln(k_i) \cdot (k_i)^{\frac{1}{b}} \right] \right] + b = 0, \quad (4)$$

$A := \text{Find}(\alpha, b)$ .

Найденные параметры позволяют записать плотность трехпараметрического гамма-распределения

$$f(H) := \frac{1}{b \cdot \Gamma(\alpha)} \cdot \left(\frac{\Gamma(\alpha+b)}{\Gamma(\alpha)}\right)^{\frac{\alpha}{b}} \cdot H^{\frac{\alpha}{b}-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{\Gamma(\alpha+b)}{\Gamma(\alpha)}\right)^{\frac{1}{b}} \cdot H\right]. \quad (5)$$

Функция распределения и теоретическая вероятность превышения (обеспеченность) максимального уровня

$$F(H) := \int_0^H f(t) dt \quad P(H) := 100 \cdot \left( 1 - F\left(\frac{H}{H_s}\right) \right). \quad (6)$$

Параметр  $\lambda_2 = -0,0377$ . Численное решение системы уравнений (3)-(4) дает:  $\alpha = 0,634$ ;  $b = 0,160$ . Запишем плотность трехпараметрического гамма-распределения по формуле (5)

$$f(H) := \frac{1}{0,16 \cdot \Gamma(0,634)} \cdot \left( \frac{\Gamma(0,794)}{\Gamma(0,634)} \right)^{3,955} \cdot H^{2,955} \cdot \exp \left[ - \left( \frac{\Gamma(0,794)}{\Gamma(0,634)} \cdot H \right)^{6,242} \right],$$

или  $f(H) := 2,075 \cdot H^{2,955} \cdot \exp \left[ - (0,827 \cdot H)^{6,242} \right]. \quad (7)$

Формулы (6) и (7) дают функцию распределения и теоретическую вероятность превышения (обеспеченность), представленную на рис. 3. Опытные данные хорошо согласуются с теоретической кривой.

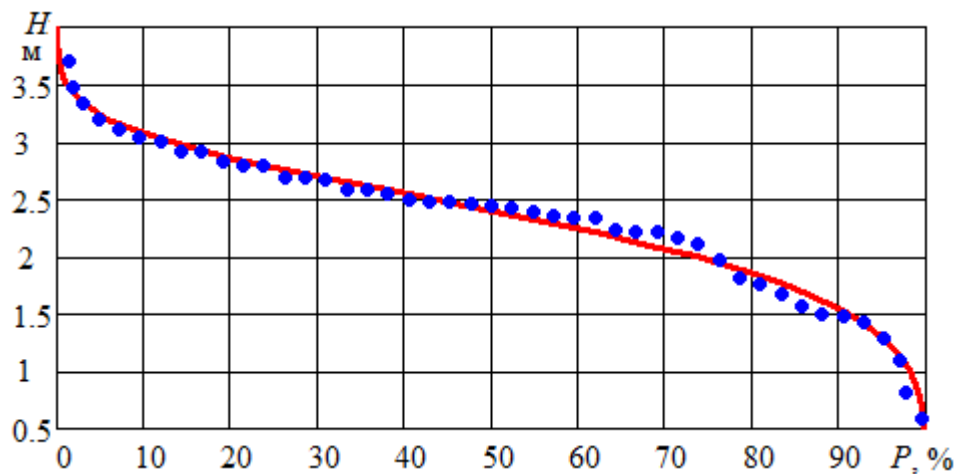


Рисунок 3 – Кривая обеспеченности максимальных годовых уровней реки Преголи (г.Гвардейск, м БС): точки – эмпирическая, линия – теоретическая

Найденная теоретическая кривая позволяет определить максимальные годовые расчетные уровни реки Преголя (Гвардейск) заданной обеспеченности, а затем по уравнению линейной регрессии пересчитать на другой створ, для которого имеются совместные наблюдения (табл. 3)

Таблица 3 – Максимальные расчетные уровни реки Преголя (м БС)

Река	Гидропост	Обеспеченность максимального уровня, %						
		0,01	0,1	0,5	1,0	3,0	5,0	50
Преголя	Гвардейск	3,97	3,77	3,60	3,51	3,33	3,23	2,40
Преголя	Черняховск	13,12	12,80	12,51	12,36	12,07	11,91	10,54

Заметим, что в устьевой части на уровень воды оказывают влияние стонно-нагонные явления (изменение уровня ветрового происхождения) и штормовые нагоны (изменение уровня, возникающие в результате перемещения барических систем) [12]. Уровень воды повышается при сильных ветрах юго-западного, западного направлений, течение реки может



быть направлено к истоку. Нагонная волна при штормовых ветрах может распространяться до города Гвардейска. Эти явления необходимо учитывать при определении расчетных максимальных уровней в ходе инженерно-гидрометеорологических изысканий.

### **Заключение**

1. Установлено, что оперативными данными [8] нужно пользоваться с большой осторожностью, а гидрологические характеристики рассчитывать после сравнения с [9] или иными источниками.

2. Рассчитаны параметры теоретической кривой обеспеченности максимального годового уровня воды реки Преголя в створе города Гвардейска.

2. Найдены максимальные годовые расчетные уровни воды реки Преголя (г. Гвардейск) с вероятностями превышения, указанными в своде правил [2].

3. На примере гидроствора в г. Черняховске показано, как по уравнению линейной регрессии пересчитать максимальные годовые уровни на другой створ в бассейне реки Преголи, для которого имеются совместные наблюдения.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Утвержден приказом Федерального агентства по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству (Госстрой России) от 10 декабря 2012 г., № 83/ГС и введен в действие с 1 июля 2013 г.

2. СП 58.13330.2012. Свод правил. Гидротехнические сооружения. Основные положения. Утвержден приказом Министерством регионального развития Российской Федерации от 29 декабря 2011 г., № 623 и введен в действие с 1 января 2013 г.

3. СП 33-101-2003. Свод правил. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Одобрен для применения в качестве нормативного документа постановлением Госстроя России № 218 от 26 декабря 2003 г.

4. Наумов В.А., Маркова Л.В. Материалы инженерно-гидрометеорологических изысканий в бассейне реки Преголи. Среднегодовые расходы до 1985 // Вестник науки и образования Северо-запада России: электронный журнал, 2015. Т. 1, № 2. URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2015/10/2015№2-Наумов.pdf>.

5. Гидрологический ежегодник 1948 г. Т. 1. Бассейн Балтийского моря / Под ред. Ю.П. Либровского. Вып. 4-6. Л.: Гидрометеиздат, 1954. 228 с.

6. Гидрологический ежегодник 1959 г. Т. 1. – Бассейн Балтийского моря / Под ред. В.В. Селянкиной. Вып. 5,6. Л.: Гидрометеиздат, 1963. 209 с.

7. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши 1986 г. – Часть 1. Реки и каналы. Т. 1. Вып. 5, 6. Бассейны рек Нямунаса, Преголи и Вислы. Вильнюс: Гидрометеиздат, 1988. 277 с.

8. ГИС-портал Центра регистра и кадастра [Электронный ресурс]. URL: <http://gis.waterinfo.ru/> (дата обращения: 01.02.2012).

9. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов [Электронный ресурс]. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> / (дата обращения: 01.11.2015).

10. Наумов В.А., Маркова Л.В. Гидрологические и климатические ряды: Статистический анализ для Калининградской области и соседних регионов. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2013. 109 с.

11. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. Л.: Гидрометиздат, 1974. 424 с.

12. Сергеева Л. Г. Исследование штормовых нагонов в устье р. Преголи у Калининграда // Известия ВГО, 1991. Т. 123. Вып. 3. С. 275-279.



## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Наумов Владимир Аркадьевич*

ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет», г. Калининград, Россия, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водных ресурсов и водопользования, действительный член Российской инженерной академии, действительный член Российской академии естественных наук,

E-mail: [van-old@rambler.ru](mailto:van-old@rambler.ru).

*Naumov Vladimir Arkad'evich*

FSEI HPE «Kaliningrad State Technical University», Kaliningrad, Russia, Chairman of The Water Resources Department, Doctor of Technical Science, Professor, Member of Russian Engineering Academy, Member of Russian Academy of Natural Science,

E-mail: [van-old@rambler.ru](mailto:van-old@rambler.ru)

Корреспондентский почтовый адрес и телефон для контактов с автором статьи:  
236022, Россия, Калининград, Советский пр., 1, КГТУ, ГУК, каб. 372. Наумов В.А.  
8(4012)99-53-37