

УДК 556.537

**ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ШЕРОХОВАТОСТИ РУСЛА МАЛОЙ РЕКИ  
ЗЛОЙ ОТ ГЛУБИНЫ**

В.А. Наумов

**DEPENDENCE OF THE ROUGHNESS COEFFICIENT OF THE SMALL RIVER ZLAYA  
FROM THE DEPTHS**

V.A. Naumov

**Аннотация.** По данным наблюдений реки Злой, опубликованным в Гидрологических ежегодниках, рассчитаны значения коэффициента шероховатости русла  $n$  в формуле Шези. Величина  $n$  практически не зависит от средней скорости. Предложена эмпирическая формула зависимости этого коэффициента от средней глубины водотока. При увеличении глубины коэффициент шероховатости растет. Для выявления региональных зависимостей необходимы дальнейшие исследования гидрологических характеристик малых рек.

**Ключевые слова:** река Злая; формула Шези; коэффициент шероховатости; средняя глубина; эмпирическая формула.

**Abstract.** Values of the roughness coefficients in the Shesi's formula are calculated according to the observations of the Zlaya river published in Hydrological yearbooks. The value  $n$  is practically independent of the average speed. The empirical formula for the dependence of this coefficient on the average depth of the watercourse is proposed. As the depth increases, the roughness coefficient increases. Further studies of hydrological characteristics of small rivers are needed to identify regional dependencies.

**Keywords:** Zlaya river; Shesi's formula; roughness coefficient; average depth; the empirical formula.

**Введение**

При моделировании распространения загрязняющих примесей в водотоках, как правило, требуется найти среднюю скорость течения  $V$  [1-5]. В инженерных приложениях при равномерном течении водотока средняя скорость определяется по формуле Шези:

$$V = C \cdot \sqrt{R \cdot I}, \quad (1)$$

где  $I$  – уклон водной поверхности;  $R$  – гидравлический радиус;  $C$  – коэффициент Шези.

По действующим нормативным документам коэффициент Шези при средней глубине водотока до 5 м следует вычислять по формуле Н.Н. Павловского

$$C = R^y / n; \quad y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,1), \quad (2)$$

где  $n$  – коэффициент шероховатости русла, величину которого нужно выбирать по описательным характеристикам расчетного участка, приведенным в таблицах.

В [6] названы факторы, которые либо вообще не учтены в таблицах, либо их учет выполнен не полностью: глубины, форма сечения русел рек, эффект взаимодействия потоков и частично размеры реки. Это далеко не полный перечень недоучтенных в таблицах факторов. Однако даже их учет, по мнению авторов, позволит повысить точность определения значений коэффициентов шероховатости. На кафедре гидрометрии Российского государственного гидрометеорологического университета (РГГМУ) на примере примерно 500 рек было выполнено исследование зависимости коэффициентов шероховатости от средних глубин русел  $n = f(H)$ .

Было выделено два основных типа зависимостей [6]. К первому типу относятся возрастающие функции  $n = f(H)$ , характерные для равнинных рек, берега которых интенсивно заросли кустарником и деревьями. Убывающие функции бывают у рек с хорошо разработанными не заросшими руслами, что более характерно для горных и полуполотных рек. Помимо двух основных типов зависимостей  $n = f(H)$  возможные еще три промежуточных. В частности, встречаются реки, на которых сначала наблюдается увеличение коэффициентов шероховатости с ростом средних глубин потока, а затем при достижении некоторого их критического значения  $n$  уменьшаются. Возможна зависимость зеркального вида.

В [6] указано, что необходимо продолжать исследования для выявления региональных зависимостей. Так в работах [7-8] было получено, что зависимость коэффициента шероховатости русла от глубины в створах притоков реки Преголи слабая. Но была установлена тесная стохастическая связь со средней скоростью, уравнение регрессии:

$$n = a + b \cdot \exp(-\beta \cdot V), \quad (3)$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $\beta$  – эмпирические коэффициенты. Согласно (3) с увеличением  $V$  коэффициент шероховатости русла притоков Преголи снижается. Авторами [9] получен иной результат: наибольшее значение ( $n_{max} = 0,047$ ) соответствует пику весеннего половодья реки Волги. Все это говорит о многообразии зависимостей коэффициент шероховатости русла от определяющих факторов. Использование в гидравлических расчетах водотоков допущения  $n = \text{const}$  может привести к серьезным ошибкам и искажению результатов.

Цель данной статьи – исследовать влияние различных факторов на коэффициент шероховатости русла малой реки Злой, провести корреляционный и регрессионный анализ.

### Исходные данные

В качестве исходных были использованы данные измерений в створе села Приозерье реки Злой за 1961-1964 годы, опубликованные в Гидрологических ежегодниках [10-13]. К сожалению, можно было использовать не все результаты измерений, а лишь те, которые содержали важные для этого исследования уклоны водной поверхности. В качестве базового был принят массив данных 1961 года, который содержит наибольшее количество таких измерений. В табл. 1 представлена часть результатов измерений 1961 года:  $h$  – уровень воды над нулем графика,  $Q$  – расход воды,  $\omega$  – площадь живого сечения,  $V$  – средняя скорость,  $V_m$  – максимальная скорость,  $B$  – ширина реки,  $H$  – средняя глубина,  $H_m$  – максимальная глубина,  $I$  – уклон водной поверхности.

Таблица 1 – Измеренные и рассчитанные характеристики реки реки Злой (село Приозерье, 1961, состояние русла – свободное)

№ пп	$h$ см	$Q$ м <sup>3</sup> /с	$\Omega$ м <sup>2</sup>	$V$ м/с	$V_m$ м/с	$B$ м	$H$ м	$H_m$ М	$I$ ‰	$C_b$ -	$n$ -
1	453	2.5	7.34	0.34	0.75	11.5	0.64	0.88	0.43	6.56	0.042
2	514	7.1	14.6	0.49	0.89	12.0	1.22	1.48	0.49	6.35	0.054
3	433	2.06	4.62	0.45	0.71	11.2	0.41	0.63	0.41	1.98	0.024
4	455	2.65	7.49	0.35	0.72	12.0	0.62	0.86	0.43	6.92	0.040
5	429	2.04	4.83	0.42	0.79	11.5	0.42	0.61	0.59	8.57	0.030
6	463	3.19	8.17	0.39	0.82	12.0	0.68	0.95	0.38	7.76	0.037
7	453	2.76	7.36	0.38	0.72	12.0	0.61	0.87	0.43	7.40	0.037
8	411	1.38	3.36	0.41	0.62	11.0	0.31	0.48	0.84	8.13	0.029
9	405	0.81	2.45	0.33	0.69	11.0	0.22	0.40	0.62	9.04	0.025
10	401	0.47	1.62	0.29	0.47	10.5	0.15	0.31	0.32	13.38	0.017
11	395	0.29	1.16	0.25	0.42	10.0	0.12	0.27	0.76	8.36	0.023
12	399	0.38	1.68	0.23	0.33	10.5	0.16	0.34	0.54	7.77	0.026

13	419	1.04	3.67	0.28	0.44	10.9	0.34	0.53	0.38	7.96	0.030
14	441	1.85	6.67	0.28	0.44	12.0	0.56	0.78	0.27	7.21	0.037
15	465	2.68	9.14	0.29	0.47	12.0	0.76	1.02	0.16	8.94	0.035
16	481	3.70	11.2	0.33	0.63	12.0	0.93	1.13	0.16	8.65	0.036
17	451	1.99	7.82	0.25	0.50	12.0	0.65	0.89	0.16	7.97	0.035
18	430	1.21	5.11	0.24	0.41	11.5	0.44	0.66	0.27	6.94	0.036
19	378	0.075	0.24	0.31	0.44	5.0	0.05	0.11	0.62	17.93	0.012
20	393	0.26	1.11	0.23	0.26	7.5	0.15	0.25	0.48	8.82	0.023
21	378	0.052	0.21	0.25	0.36	3/3	0.06	0.10	0.59	13.29	0.015
22	377	0.043	0.18	0.24	0.34	3.2	0.06	0.10	0.62	12.51	0.016
23	374	0.021	0.15	0.14	0.20	2.5	0.06	0.09	0.62	7.33	0.022
24	374	0.018	0.15	0.12	0.17	2.5	0.08	0.09	0.62	5.44	0.029
25	379	0.099	0.34	0.29	0.43	5.0	0.07	0.15	0.70	13.29	0.015
26	379	0.069	0.34	0.20	0.42	5.0	0.07	0.15	0.70	9.26	0.020
27	397	0.33	1.35	0.24	0.38	8.0	0.17	0.30	0.62	7.61	0.027
28	421	0.98	4.14	0.24	0.40	11.0	0.38	0.58	0.35	6.56	0.036
29	435	1.43	5.70	0.25	0.39	12	0.48	0.70	0.41	5.71	0.044
30	412	0.82	2.90	0.28	0.45	11	0.26	0.43	0.54	7.62	0.029
31	423	1.24	4.47	0.28	0.43	11.5	0.39	0.59	0.51	6.28	0.038
32	438	1.49	6.10	0.24	0.41	12	0.51	0.73	0.46	5.09	0.049
33	404	0.59	2.14	0.28	0.38	10	0.21	0.39	0.59	7.91	0.027
34	387	0.24	0.88	0.27	0.39	6	0.15	0.30	0.73	8.33	0.024
35	387	0.19	0.79	0.24	0.32	5.9	0.13	0.21	0.73	7.89	0.025
36	433	1.64	5.58	0.29	0.42	11.5	0.49	0.69	0.41	6.62	0.039
37	445	1.86	7.04	0.26	0.42	12	0.59	0.82	0.46	5.12	0.051
38	479	3.09	11.0	0.28	0.51	12	0.92	1.15	0.38	4.80	0.064
39	503	4.66	14	0.33	0.55	12	1.17	1.40	0.41	4.85	0.070
40	469	3.43	9.84	0.35	0.58	12	0.82	1.04	0.38	6.31	0.047
41	433	2.03	5.52	0.37	0.54	11.5	0.48	0.67	0.49	7.66	0.034
42	399	0.65	1.75	0.37	0.46	10.5	0.17	0.33	0.70	10.88	0.020
43	389	0.44	0.88	0.5	0.51	6	0.15	0.21	0.68	15.82	0.015
44	385	0.24	0.74	0.32	0.53	5.9	0.13	0.19	0.59	11.83	0.018
45	382	0.22	0.62	0.35	0.57	5	0.12	0.18	0.56	13.83	0.016
46	387	0.37	0.90	0.41	0.51	5.9	0.15	0.22	0.64	13.40	0.017
47	395	0.56	1.28	0.44	0.60	7	0.18	0.29	0.67	12.73	0.018
48	415	1.43	3.30	0.43	0.60	11	0.30	0.5	0.65	9.91	0.024
49	419	1.82	4.17	0.44	0.62	11	0.38	0.57	0.60	9.23	0.027
50	409	1.11	2.71	0.41	0.58	10.5	0.26	0.43	0.59	10.56	0.022
51	398	0.69	1.43	0.48	0.61	7	0.20	0.31	0.62	13.84	0.017
53	447	2.73	7.10	0.38	0.59	11.8	0.60	0.83	0.54	6.82	0.040
53	485	4.43	11.7	0.38	0.67	12	0.98	1.21	0.43	5.89	0.054
54	497	5.13	13.4	0.38	0.67	12	1.12	1.36	0.46	5.39	0.062
55	437	2.48	6.13	0.40	0.61	11.5	0.53	0.74	0.43	8.56	0.031
56	415	1.0	3.31	0.30	0.46	11	0.30	0.49	0.57	7.38	0.031

### Расчет коэффициента шероховатости русла

Специфика расчета течения малой реки в том, что заранее неизвестно, можно ли приближенно принять гидравлический радиус равным средней глубине. Поэтому вначале была исследована стохастическая связь ширины реки Злой и ее наибольшей глубины (рис. 1). Методом наименьших квадратов была получено уравнение регрессии:

$$B = \varphi(H_m) = 43,34 \cdot H_m - 57,84 \cdot H_m^2 + 33,46 \cdot H_m^3 - 7,07 \cdot H_m^4, \quad (4)$$

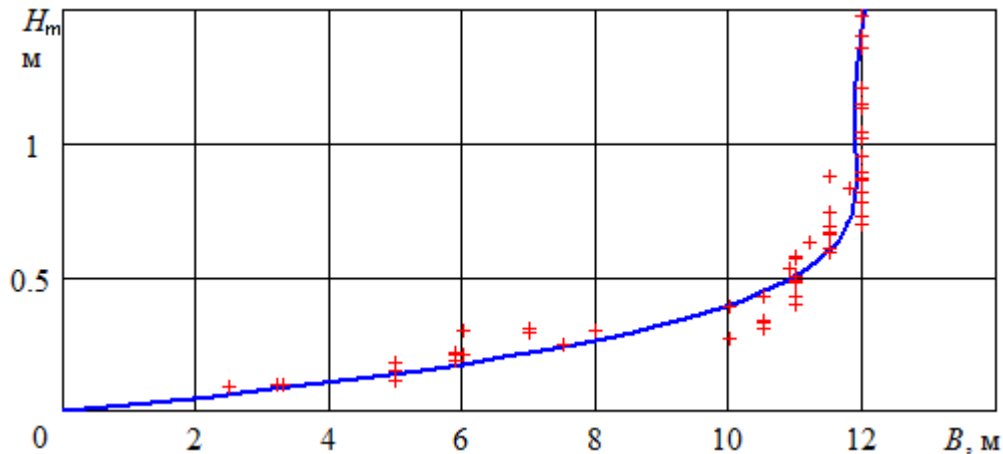


Рисунок 1 – Зависимость ширины реки Злой (село Приозерье, 1961) от наибольшей глубины. Точки – данные наблюдений (табл. 1), линия – расчет по формуле (4)

Интегрируя (4), получим зависимость площади живого сечения  $\omega$  и смоченного периметра  $\chi$  от наибольшей глубины водотока:

$$\omega(H_m) = \int_0^{H_m} \varphi(h) dh, \quad \chi(H_m) = \int_0^{H_m} \sqrt{1 + \left(\frac{d}{dt} \varphi(h)\right)^2} dh. \quad (6)$$

На рис. 2 видно, что результаты расчета площади живого сечения хорошо согласуются с данными наблюдений.

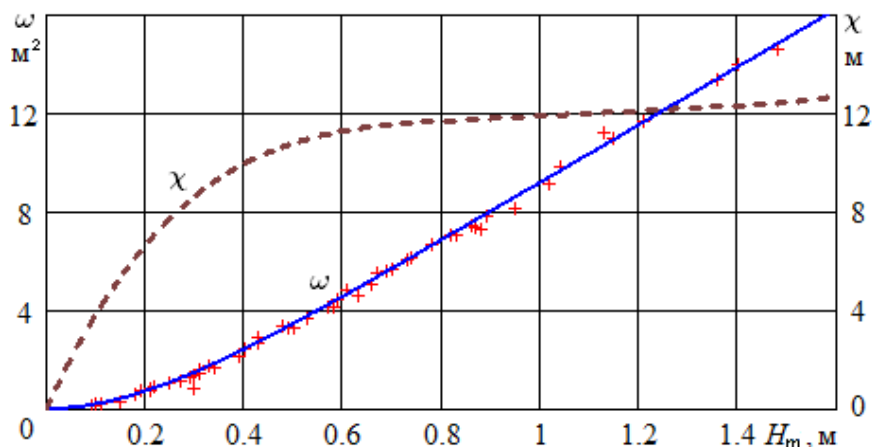


Рисунок 2 – Зависимость площади живого сечения и смоченного периметра реки Злой (село Приозерье, 1961) от наибольшей глубины. Точки – данные наблюдений площади, линии – расчет по формулам (6)

Далее находим гидравлический радиус  $R(h) = \omega(h) / \chi(h)$  и сравниваем его со средней глубиной водотока. Рис. 3 показывает, что в расчетах можно принять  $R \approx H$ .

По данным табл. 1 рассчитываем коэффициенты Шези, заносим в таблицу значения безразмерного коэффициента  $C_b$ :

$$C_i = V_i / \sqrt{H_i \cdot I_i}, \quad C_b = C_i / \sqrt{g}. \quad (7)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения.

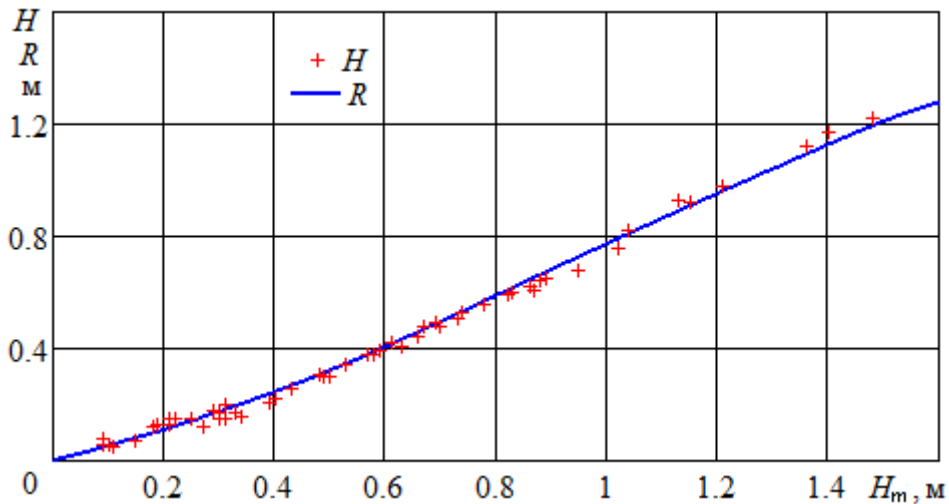


Рисунок 3 – Сравнение рассчитанных значений гидравлического радиуса (линия) с данными наблюдений средней глубины (точки)

Значения  $n_i$  находим, решая численным методом в среде Mathcad уравнение, полученное логарифмированием (2):

$$\left(2,5\sqrt{n_i} - 0,13 - 0,75\sqrt{H_i}(\sqrt{n_i} - 0,1)\right) \cdot \ln H_i - \ln n_i = \ln C_i . \quad (8)$$

### Статистический анализ

Для анализа влияния различных факторов на коэффициент шероховатости русла реки Злой рассчитаем точечные оценки коэффициентов парной корреляции (табл. 2).

Таблица 2 – Матрица парной корреляции

Факторы	$n$	$H$	$H_m$	$\omega$	$V$	$I$	$B$
$n$	1	0,898	0,897	0,896	0,012	-0,518	0,672
$H$		1	0,993	0,999	0,293	-0,631	0,711
$H_m$			1	0,995	0,299	-0,518	0,782
$\omega$				1	0,277	-0,518	0,732
$V$					1	-0,518	0,301
$I$						1	-0,518
$B$							1

Первая строка показывает практически одинаковое большое значение коэффициента корреляции со средней глубиной, максимальной глубиной и площадью живого сечения. Следующий по величине и также положительный коэффициент корреляции с шириной реки, меньший и отрицательный – с уклоном водной поверхности. Стохастическая связь с двумя последними факторами ниже, чем значимая ( $r = 0,7$ ). Коэффициент корреляции между  $n$  и средней скоростью близок к нулю. Обращаем внимание, что между факторами ( $H$ ,  $H_m$ ,  $\omega$ ) наблюдается линейная функциональная связь, так как коэффициенты парной корреляции незначительно меньше единицы. Поэтому выбираем один самый значимый фактор – среднюю глубину. Во втором приближении следует так же учитывать факторы ( $B$ ,  $I$ ).

Будем искать уравнение степенной регрессии:

$$n = f_k(H) = a_0 + a_1H + a_2H^2 + \dots + a_kH^k . \quad (9)$$

Степень полинома  $k$  установим по величине относительного среднего квадратичного отклонения данных наблюдений [14]:

$$\varepsilon_k = \sqrt{\frac{1}{N-k-1} \cdot \sum_{i=1}^N \left(1 - \frac{n_i}{f_k(H)}\right)^2} \cdot 100, \quad (10)$$

где  $N = 56$  – объем выборки.

Коэффициенты полинома (9) найдены методом наименьших квадратов (табл. 3). Относительная погрешность аппроксимации показывает, что достаточно использовать уравнение линейной регрессии ( $k = 1$ ).

Таблица 3 – Коэффициенты полинома и погрешность аппроксимации

Степень полинома, $k$	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$\varepsilon$
	-	1/м	1/м <sup>2</sup>	%
1	0,0157	0,0389	-	19,2
2	0,0147	0,0451	-0,00557	19,4

Найдем границы доверительной области для уравнения линейной регрессии при вероятности  $\gamma = 0,98$  [14]:

$$f_{\text{нижн}}(H) = f_1(H) - t_\gamma \sigma \cdot \sqrt{\frac{1}{N} + \frac{(H - \bar{H})^2}{\sum_{j=1}^N (H_j - \bar{H})^2}}, \quad (11)$$

$$f_{\text{верх}}(H) = f_1(H) + t_\gamma \sigma \cdot \sqrt{\frac{1}{N} + \frac{(H - \bar{H})^2}{\sum_{j=1}^N (H_j - \bar{H})^2}}, \quad (12)$$

$$\bar{H} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N H_j = 0,403 \text{ м}; \quad \sigma = \sqrt{\frac{1}{N-2} \cdot \sum_{j=1}^N (n_j - f_1(H_j))^2} = 0,00595 \text{ м};$$

где  $t_\gamma$  – коэффициент Стьюдента;  $\sigma$  – среднее квадратичное отклонение значений коэффициента шероховатости от уравнения линейной регрессии.

### Результаты расчетов

На рис. 4 показана зависимость коэффициента шероховатости русла реки Злой от средней глубины. Доверительная область уравнения линейной регрессии довольно узкая, в основном точки соответствуют этой области. Однако имеются и значительные отклонения.

По табл. 1 найдено среднее значение коэффициента  $n = 0,031$ . На рис. 5 при таком постоянном значении  $n$  построена зависимость коэффициента Шези от средней глубины по формуле (2). Так обычно выполняют гидравлические расчеты течений в открытых руслах. Видно качественное различие: точки с ростом  $H$  стремятся вниз, а линия – вверх.

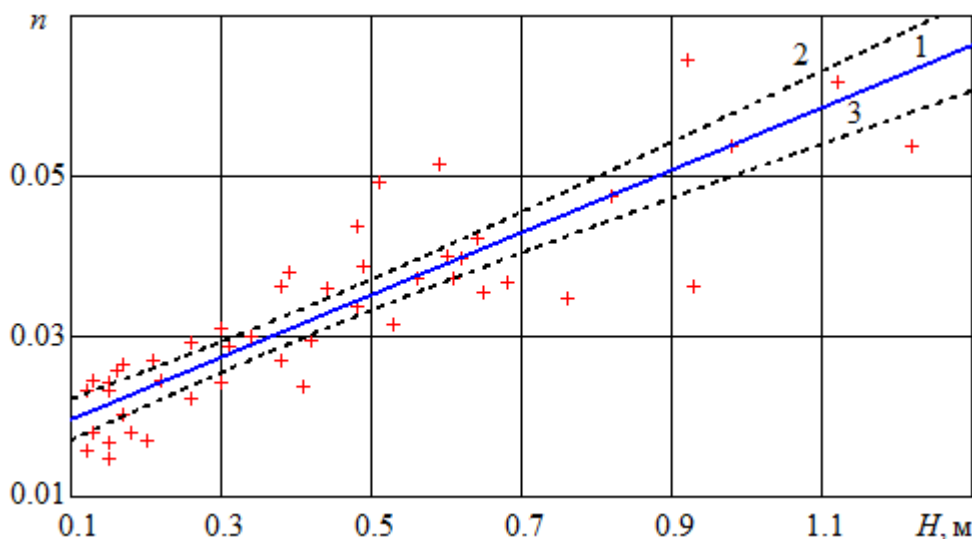


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента шероховатости русла реки Злой (село Приозерье, 1961) от средней глубины. Точки рассчитаны по данным наблюдений; 1 – уравнение линейной регрессии, 2 и 3 – границы доверительной области для него

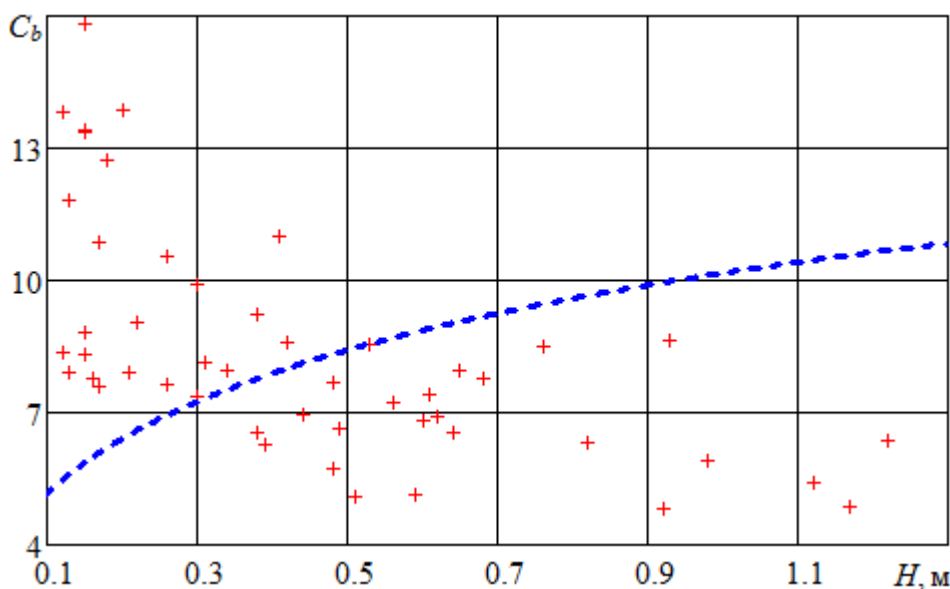


Рисунок 4 – Безразмерный коэффициента Шези. Точки рассчитаны по данным наблюдений; линия построена по формуле (2) при постоянном  $n = 0,031$

### Заключение

По данным наблюдений на реке Злой (село Приозерье), опубликованным в Гидрологических ежегодниках, рассчитаны значения коэффициентов шероховатости в формуле Шези. Величина  $n$  практически не зависит от средней скорости. Коэффициент корреляции между  $n$  и средней глубиной водотока  $H$  равен 0,898. Предложена эмпирическая формула зависимости коэффициента шероховатости русла от  $H$ . При увеличении глубины коэффициент шероховатости растет. Допущение  $n = \text{const}$  приводит к качественно неверной зависимости коэффициента Шези от  $H$ . Для выявления региональных зависимостей необходимы дальнейшие исследования гидрологических характеристик малых рек.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания НИОКР 2018 года по теме: «Разработка базы данных, алгоритма и методики расчета гидрологических характеристик малых рек рыбохозяйственного значения при отсутствии систематических наблюдений».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Великанов Н.Л., Наумов В.А., Великанова М.Н. Расчет распространения загрязнения в р. Товарная // Вода: химия и экология. 2011. № 8. С. 89-94
2. Великанов Н.Л., Наумов В.А., Маркова Л.В., Смирнова Л.В. Результаты натурных исследований малых водотоков на мелиорированных землях региона // Вода: химия, экология. 2013. № 7. С. 18-26.
3. Великанов Н.Л., Наумов В.А., Примак Л.В. Осаждение частиц взвесей в воде // Механизация строительства. 2013. № 7 (829). С. 44-48.
4. Наумов В.А. Математическое моделирование распространения взвешенных примесей от точечного источника и их осаждения в водотоке // Известия КГТУ, 2017. № 44. С. 46-58.
5. Великанов Н.Л., Наумов В.А. Моделирование распространения взвешенных органических примесей в водотоках // Вода: химия и экология. 2017. № 3. С. 3-8.
6. Барышников Н.Б. Гидравлические сопротивления речных русел. СПб: Изд-во РГГМУ, 2003. 147 с.
7. Наумов В.А. Коэффициент шероховатости русла реки Писсы // Вестник науки и образования Северо-Запада России: электронный журнал, 2017. Т. 3, № 3. С. 1-7. URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2017/09/2017-N3-Naumov.pdf>.
8. Наумов В.А. Расчет коэффициента шероховатости русла реки Анграпы по данным наблюдений // V Международный Балтийский морской форум (21-27 мая 2017 г.). Материалы конференции. Калининград: Изд-во БГАРФ, 2017. С. 719-724.
9. Писарев А.В., Храпов С.С., Агофонникова Е.О., Хоперсков А.В. Численная модель динамики поверхностных вод в русле Волги: оценка коэффициента шероховатости // Вестник Удмуртского университета, 2013. № 1. С. 114-130.
10. Гидрологический ежегодник 1961 г. Бассейн Балтийского моря / Под ред. Л.М. Жвирздинене. Вып. 5, 6. Ленинград: Гидрометеиздат, 1963. 198 с.
11. Гидрологический ежегодник 1962 г. Бассейн Балтийского моря / Под ред. Л.М. Жвирздинене. Вып. 5,6. Л.: Гидрометеиздат, 1964. 224 с.
12. Гидрологический ежегодник 1963 г. Бассейн Балтийского моря / Под ред. Д.И. Абрайтене. Вып. 5,6. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 237 с.
13. Гидрологический ежегодник 1964 г. Бассейн Балтийского моря / Под ред. Д.И. Абрайтене. Вып. 5, 6. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 264 с.
14. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. М.: Физматлит, 2006. 816 с.

## REFERENCES

1. Velikanov N.L., Naumov V.A., Velikanova M.N. *Raschet rasprostraneniya zagryazneniya v r. Tovarnaja* [Calculation of distribution of pollution in Commodity R.]. *Voda: himiya i jekologija*. 2011. No 8, pp. 89-94.
2. Velikanov N.L., Naumov V.A., Markova L.V., Smirnova L.V. *Rezultaty naturnyh issledovanij malyh vodotokov na meliorirovannyh zemljah regiona* [the Results of field studies of small waterways on reclaimed land in the region]. *Voda: himiya, jekologija*. 2013. No 7, pp. 18-26.
3. Velikanov N.L., Naumov V.A., Primak L.V. *Osazhdenie chastic vzvesej v vode* [Deposition of suspension particles in water]. *Mehanizacija stroitel'stva*. 2013. No 7 (829), pp. 44-48.
4. Naumov V.A. *Matematicheskoe modelirovanie rasprostraneniya vzveshennykh primesey ot tochechnogo istochnika i ikh osazhdeniya v vodotoke* [Mathematical modeling of the suspended contaminants from a point source and their deposition in the stream]. *Izvestiya KGTU*, 2017. No 44, pp. 46-58.
5. Velikanov N.L., Naumov V.A. *Modelirovanie rasprostraneniya vzveshennykh organicheskikh primesey v vodotokakh* [Modeling of the propagation of the weighted or-organic impurities in waters]. *Voda: khimiya i ekologiya*, 2017. No 3, pp. 3-8.





6. Baryshnikov N.B. *Gidravlicheskie soprotivlenija rechnyh rusel* [Hydraulic resistance of river channels: a tutorial]. SPb: RGGMU Publ., 2003. 147 p.
7. Naumov V.A. *Koefficient sherohovatosti rusla reki Pissy* [Roughness coefficient of the Pissa river bed]. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii: jelektronnyj zhurnal*, 2017. V. 3, No 3, pp. 1-7. URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2017/09/2017-N3-Naumov.pdf>.
8. Naumov V.A. *Raschet koefficienta sherohovatosti rusla reki Angrapy po dannym nabljudenij* [Calculation of the roughness coefficient of the Angrapa river bed according to observations]. V *Mezhdunarodnyj Baltijskij morskoy forum* (21-27 may 2017). Materialy konferencii. Kaliningrad: BGARF Publ., 2017, pp. 719-724.
9. Pisarev A.V., Khrapov S.S., Agofonnikova E.O., Khoperskov A.V. *Chislennaya model' dinamiki poverkhnostnykh vod v rusle Volgi: otsenka koeffitsienta sherohovatosti* [Numerical model of the dynamics of surface water in the channel of Volga: estimation of roughness]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta*, 2013. No 1, pp. 114-130.
10. *Gidrologicheskiy ezhegodnik 1961 g. Basseyn Baltijskogo morya* [Hydrological Yearbook 1961, Baltic Sea basin]. Editor L.M. Zhvirzdinene. V. 5, 6. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1963. 198 p.
11. *Gidrologicheskiy ezhegodnik 1962 g. Basseyn Baltijskogo morya* [Hydrological Yearbook 1962, Baltic Sea basin]. Editor L.M. Zhvirzdinene. V. 5, 6. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1964. 224 p.
12. *Gidrologicheskiy ezhegodnik 1963 g. Basseyn Baltijskogo morya* [Hydrological Yearbook 1961, Baltic Sea basin]. Editor D.I. Abraitene. V. 5, 6. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1965. 237 p.
13. *Gidrologicheskiy ezhegodnik 1964 g. Basseyn Baltijskogo morya* [Hydrological Yearbook 1961, Baltic Sea basin]. Editor D.I. Abraitene. V. 5, 6. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1966. 264 p.
14. Kobzar' A.I. *Prikladnaya matematicheskaya statistika* [Applied mathematical statistics]. Moscow: Fizmatlit Publ., 2006. 816 p.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Наумов Владимир Аркадьевич*

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*

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