



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра водно – технических изысканий

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

Гидравлические
сопротивления

На тему

зарастающих русел

Исполнитель Ульданова Екатерина Александровна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель Кандидат технических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Векшина Татьяна Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой


(подпись)

Кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич
(фамилия, имя, отчество)

« 5 » 06 2020 г.

Санкт-Петербург
2020

	.....	2
1.	-	4
1.1	.....	4
1.2	.....	4
1.3	.....	5
1.4	.....	6
1.5	.....	7
1.6	.....	7
1.7	.....	8
1.8	.....	9
2.	.....	10
3.	.....	13
3.1	.....	13
3.2	,	14
3.3	,	17
3.4	.....	22
3.5	.....	24
3.6	.....	25
4.	.....	42
	.....	50
	:	51

,

,

.

:

1. ,

2. ,

3.

4.

1. —

1.1

— . —

,

. , ,

- .

65300 2.

,

90,66 .

1.2

,

.

,

, 15 - 20 50 ,

.

()

.

,

(234).

—

—

,

—

—

,

100

80 - 90 .

,

:

,

—

,

—

—

—

.

—

— , — . B -

1.4

·
· , ·
· , ·
·
· ,
·
· 1950 — ,

20 %

- — 35 %
- , — 12 %
- , — 7 %
- , — 31 %
- — 15 %
- — 439 ².

, . , -
 : , ().
 , . -
 , .
 3 . .
 2830 . 880 2.
 1600.
 1,37 % . -
 . - 44,5 2,
 (60,5). - ,
 ,
 , .
 26 3,
 21 3. 6724 3 . -
 1% -
 (81% - - , 16% -
 , 3% -).

1.7

- , -
 (), - (-
), - (-
) . - -
 , -
 . -
 . -
 - . -
 33,5% .
 , .

.
 ,
 .
 . 1990 -
 (0,9%).
 . 17%
 ; 7% - (60%),
 -

1.8

.
 ,
 1990 2 2.
 .
 ,
 ,
 ,
 .
 -
 -
 -
 -
 -
 -
 -

. , ,
 . , ,
 . , 220
 . , , ,
 . , , ,
 . 13 () 18
 . , , ,
 . , , -
 . , , .
 - Venta Rumba ().
 , , , , 50%
 . - 40 - 50 , - 150 -
 200 . 78
 . , ,
 . 1948 15
 , 300 .
 , ,
 :
 - 1570 ².
 1933

—

4060².

1939

, , . , ,
, , .

3.2

C

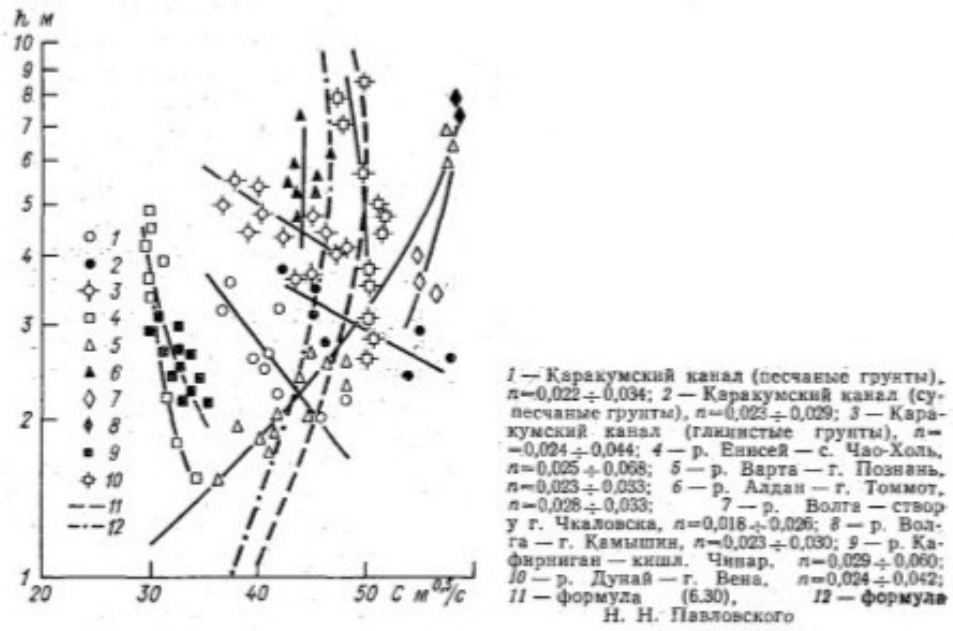
100

$h < 3$

[2]

(1-1.5

). (3.1)



3.1

[2]

1869

[3]:

$$C = \frac{23 + \frac{0.00155}{J} + \frac{1}{n}}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{l}\right) \left(\frac{n}{\sqrt{n}}\right)} \quad (3.1)$$

J –

R –

n –

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \quad (3.2)$$

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{5}} \quad (3.3)$$

$$C = \frac{1}{n} R^y \quad (3.4)$$

$$y = 2.5\sqrt{n} - 0.13 - 0.75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0.10) \quad (3.5)$$

$$C = \frac{1}{n} + 17.72 \lg R, \quad (3.6)$$

$$17.72 = 4\sqrt{2g},$$

R—

3.3

$$n = h^y/C, \quad = f(n), \dots$$

$$n \quad - 1/6$$

$$(\quad) n \quad (/ ^{1/3}), \quad = 1/4 - (/ ^{1/4}). [1]$$

[1]

$$n = n_1 + n_2 + n_3 + n_4 \quad (3.7)$$

(3.7)

(1970),

11

$$n = \frac{(0.0926)R^{\frac{1}{6}}}{1.16 + 2.0 \log\left(\frac{R}{d_{84}}\right)} \quad (3.8)$$

R -

, d_{84} -

0.010 0.200.

· · · , ,

·
:
, , ·
, ,

.[3]

0.020 -

0.200.

,
, ,
, ,

1. , ,
,

,
2. ·

·
3. · : ,
, , ·

· n ,
,
4. ·
·

, . , , , ,

n.

5.

.

n.

,

6.

,

.

,

7.

.

.

,

.

,

,

,

.

3.4

.

,

.

.

.

0), (+8

105

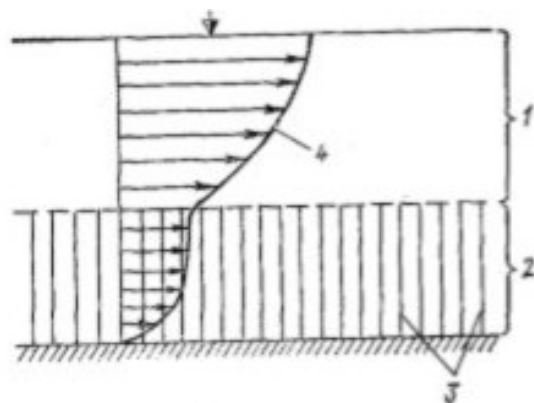
25000 ²,

3.6

() .

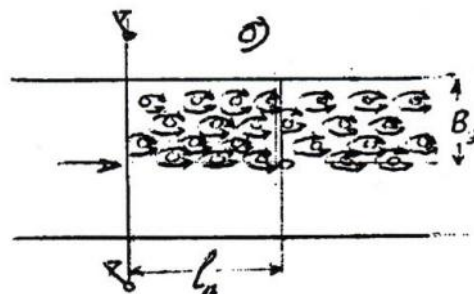
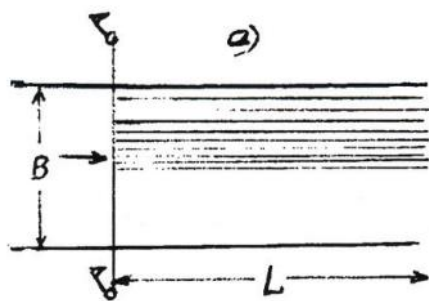
[28]

1 — течение потока над растительностью, 2 — течение потока в пределах растительности, 3 — растительные элементы, 4 — анюра скорости.



3.2

(3.3):



3.3

) ,
 .
 ,

 .
 ,
 .
 , , ,
 . :

$$\rho ghI = \rho \frac{V^2}{2} s_m C k \frac{1}{M^2} , \quad (3.12)$$

: $\rho -$,
 $g -$,
 $h -$,
 $I -$,
 $V -$,
 $s_m = f(h_p, d_p) -$ h_p
 $d_p,$
 $-$,
 $k -$,

(3.12) . . .

:

$$\lambda = 4 \frac{V_p^2}{V^2} s_m C k \frac{1}{M^2} \quad (3.13)$$

λ

:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 0.4 \left(\frac{h}{h_p} \right)^{\frac{1}{2}\sqrt{\lambda}} j, \quad (3.14)$$

$$j = \frac{M_p}{\sqrt{s_m C k}}, \quad ,$$

.

. . .

n_3 :

$$n_a = \left\{ n_0^2 \left[1 - d_p \sqrt{\alpha_r + \frac{182 h^{\frac{1}{3}} \alpha_r d_p h_p}{2g (Re 10^{-3})^{1.2}}} \right] \right\} \quad (3.15)$$

d_p, h_p — , , ,
 (), ,

.

, , , ,
 — , , ,

8 - 10° .

$$\lambda = \lambda_0(1 - d_p \sqrt{\dots}) + a d_p h_p \quad (3.16)$$

0 - ; d -
; - ; h -
.

... ..

1. , - , -
, - ,

2.

$$\lambda = \lambda_0(1 - d_p \sqrt{\dots}) + \frac{182a d_p h_p}{(\text{Re} \cdot 10^{-3})^{1.2}} \quad (3.17)$$

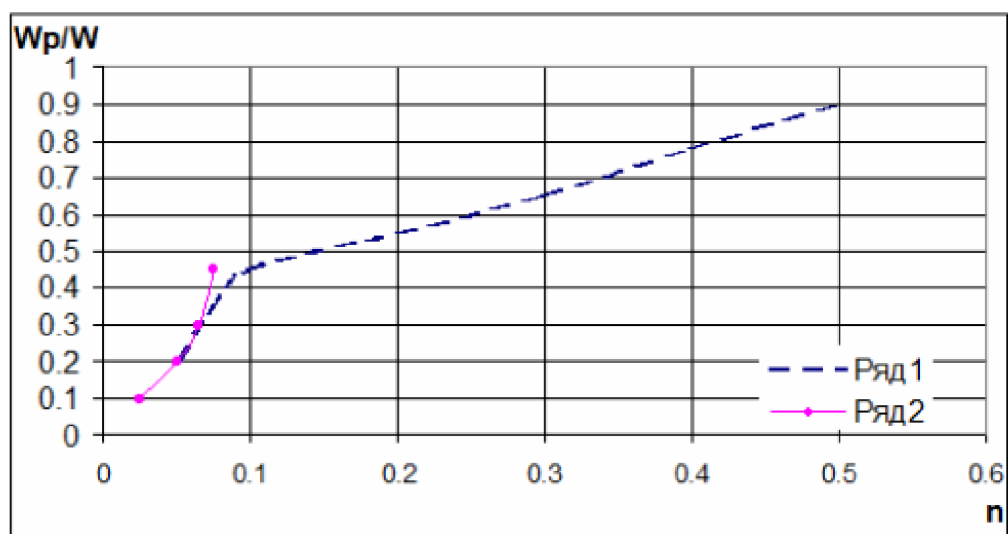
(3.17)

$$\lambda = 0,69(\omega / \omega)^{0,62} \quad (3.18)$$

$$n_3 = \frac{0,3h^{1/6}}{\sqrt{g}} (\omega / \omega)^{0,31}, (\omega / \omega) \geq 0,49 \quad (3.19)$$

$\omega -$,
 $\omega -$.

(3.3),



3.4

$$n = \frac{\omega^{5/3} \sqrt{J}}{QB^{2/3}} \quad (3.20)$$

$$m_0 = I/n_0 \quad (3.21)$$

$$= / , \quad (3.22)$$

T -

3 -

=0

n0

: n3 = n0

= 1.

:

$$n = n_0 / (1 + k_1 \tau + k_2 \tau^{4/3}), \quad (3.23)$$

$$1 \quad 2 -$$

$$Q = (\omega^{5/3} \sqrt{I}) / (B^{2/3} n_0) (1 + k_1 \tau + k_2 \tau^{4/3}) \quad (3.24)$$

$$(3.24)$$

$$(3.24),$$

$$m = \sqrt{I} / n_0 = \frac{\sqrt{I}}{n_0 (1 + k_1 \tau + k_2 \tau^{4/3})} = \frac{QB^{2/3}}{\omega^{5/3}} \quad (3.25)$$

$$m_3$$

$$(3.25)$$

$$m_3 = a_0 - a_1 \tau + a_2 \tau^{4/3}, \quad (3.26)$$

$$m_3 = \frac{QB^{2/3}}{\omega^{5/3}};$$

$$x_1 = \tau;$$

$$x_1 = \tau^{4/3}.$$

(3.26)

50

3.1.

3.1

m_3

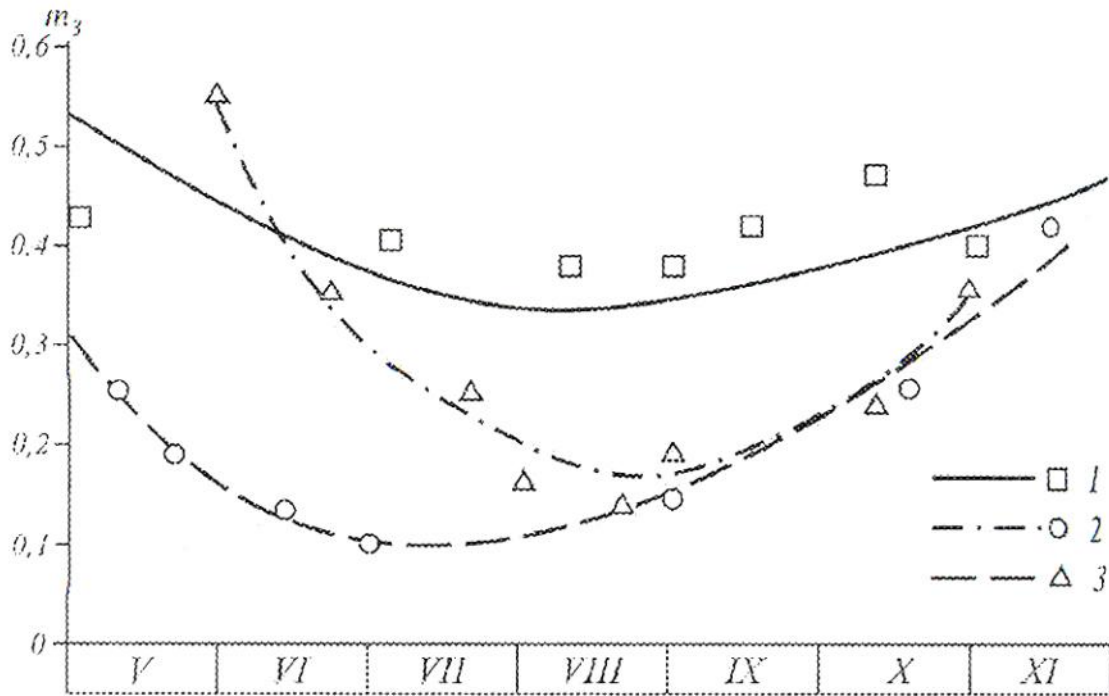
				' 2	0	1	2	m3	R	(%)
		1	1958	542	0,44	-1,98	1,66	0,07	0,99	7,7
			1971	1410	0,69	-4,68	4,57	0,18	0,95	16,5
			1959	6230	0,23	-0,19	0,39	0,2	0,97	6,1
			1959	11000	0,65	-0,77	0,7	0,43	0,56	9,48
		2	1974	1212	0,54	-3,22	2,93	0,09	0,98	13,7
			1974	1910	0,3	-0,68	0,51	0,12	0,82	18,4
			1958	2900	0,28	-1,24	1,24	0,13	0,91	10,9
			1958	3170	0,3	-1,76	2	0,14	0,91	19
			1971	10800	0,31	-0,73	0,66	0,19	0,77	15
			1958	12500	0,46	-1,42	1,33	0,28	0,83	10,5

3.1

				' 2	0	1	2	m3	R	(%)
		3	1961	3230	0,47	- 1,94	1,88	0,23	0,95	7,81
	1960		6520	0,51	- 2,58	2,67	0,2	0,88	14,5	
	1960		14300	0,25	- 0,22	0,25	0,23	0,64	10,6	

3.5

m₃.



. 3.5

m₃: 1 - . - .

1960 ., 2 - . - .

1958 ., 3 - . - .

1971 .

N.

1)

2)

3)

1 -

10

N

8 °C,

,
 :
 - - ,
 :

$$s_1 = 1 - (t/25000)^{0.5} \quad (3.26)$$

- - ,
 8° :

$$s_2 = (t/8) - 1 \quad (3.27)$$

:

$$S_{\max} = \frac{(n_3)_{\max}}{n_0} = \frac{m_0}{(m_3)_{\min}}, \quad (3.28)$$

m_0 m_3 -
 .

$S(P_1, P_2)$

:

$$S_{\max} = \exp(a_1 P_1 - a_2 P_1^2) P_2 \quad (3.29)$$

$$a_1 \quad a_2 \quad (3.29)$$

:

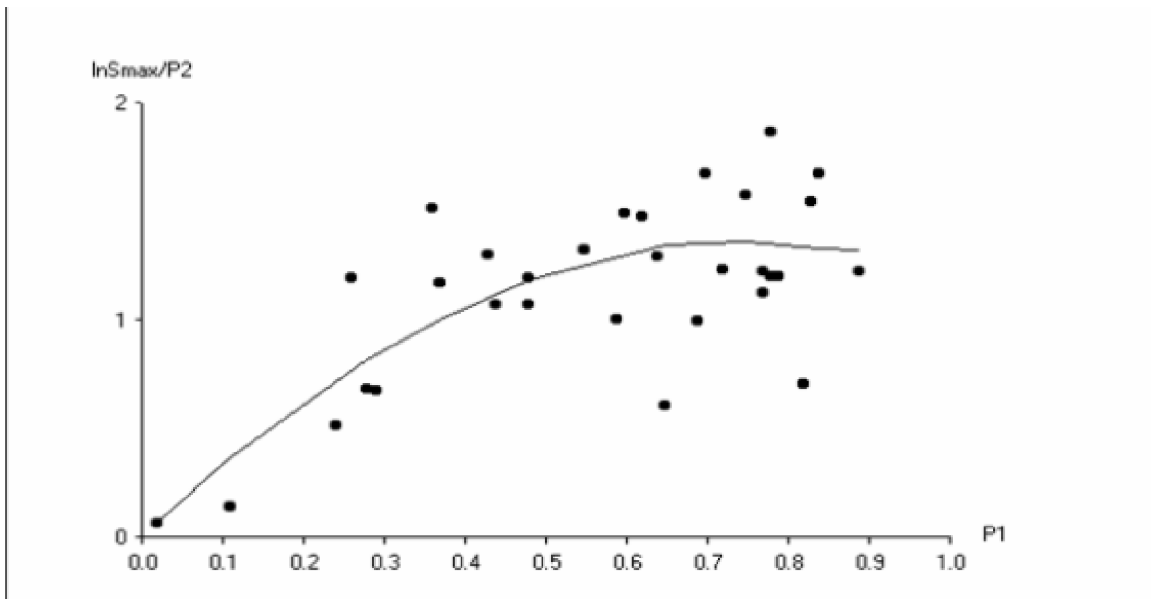
$$y = \frac{\ln S_{\max}}{P_2} = a_1 P_1 - a_2 P_1^2 \quad (3.30)$$

(3.6)

(3.30).

30

(3.30): a_1, a_2 .



. 3.6.

—

—

.

,

:

$$m_3 = 2.16 \left[1 - 9.2(\tau - 0.99\tau^{4/3}) \left(1 - \frac{1.04}{S_{\max}} \right) \right] / A^{0.15} \quad (3.31)$$

(3.31)

,

:

$$n_3 = 0.051 / A^{0.067} \left[1 - 9.2(\tau - 0.99\tau^{4/3}) \left(1 - \frac{1.04}{S_{\max}} \right) \right] \quad (3.32)$$

(3.31) (3.32)

—

,

—

.

,

.

.

(3.2)

,

.

3.2.

—

.

, 2												
	n_{max}		n	n_{max}		n	n_{max}		n			
	n	n	n	n	n	n	n	n	n			
300	0,065		0,049		0,097		0,061		0,130		0,069	
VII	0,048	0,059	0,045	0,057	0,084	0,052	0,064	0,107	0,057			
1000	0,062		0,046		0,093		0,057		0,124		0,064	
VIII	0,045	0,056	0,042	0,054	0,080	0,049	0,059	0,101	0,053			
3500	0,056		0,042		0,084		0,052		0,112		0,058	
IX	0,041	0,050	0,038	0,048	0,071	0,044	0,054	0,090	0,048			
8000	0,043		0,035		0,064		0,044		0,085		0,050	
X	0,034	0,039	0,033	0,042	0,056	0,039	0,047	0,072	0,043			
22500	0,016		0,017		0,024		0,023		0,031		0,028	
XI	0,017	0,018	0,015	0,023	0,024	0,022	0,028	0,029	0,027			

4.

, ,
 .
 :
 -
 -
 -
 1570 ²,
 . , ,
 , . :
) ,
) , ,
 -
 - ,
 :

$$Q = \omega C \sqrt{R} \quad (4.1)$$

,
 :

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \quad (4.2)$$

:

$$n = \frac{\omega^{5/3} \sqrt{J}}{QB^{2/3}} \quad (4.3)$$

, , — , , , , , :

$$m = \frac{QB^{2/3}}{\omega^{5/3}} \quad (4.4)$$

(4.1)

1949 – 1958 .

4.1

– , 1949 – 1958 .

	n_{\min}	n	n_{\max}
1949	0,056	0,108	0,149
1950	0,037	0,135	0,191
1951	0,049	0,122	0,158
1952	0,026	0,082	0,129
1953	0,046	0,109	0,216

4.1

	n_{\min}	n	n_{\max}
1954	0,027	0,125	0,396

1955	0,032	0,081	0,179
1956	0,027	0,058	0,098
1957	0,029	0,085	0,269
1958	0,028	0,084	0,150

(4.1),

— ,

— , 0.026 0.396

— 1954

— 0,369

— n

— 1956 0,071

— 1954 0,396

— —

— 0,026

— 1952

— , ,

— 0,100

— , (4.1), ,

— , ,

— .

(4.2)

n,

.

4.2

		n	0,100
.	0,100 – 0,160		
	0,070 – 0,160		
	0,1		

,
 . . .
 n
 . . . ,
 ,
 50 – ,
 . . . ,
 n
 .
 , :
 – . . .
 ,
 .
 – . . .
 ,
 – .
 ,

1949 – 1958

« »,

n

²,

0,124

0,064.

(4.1)

1570

n

n.

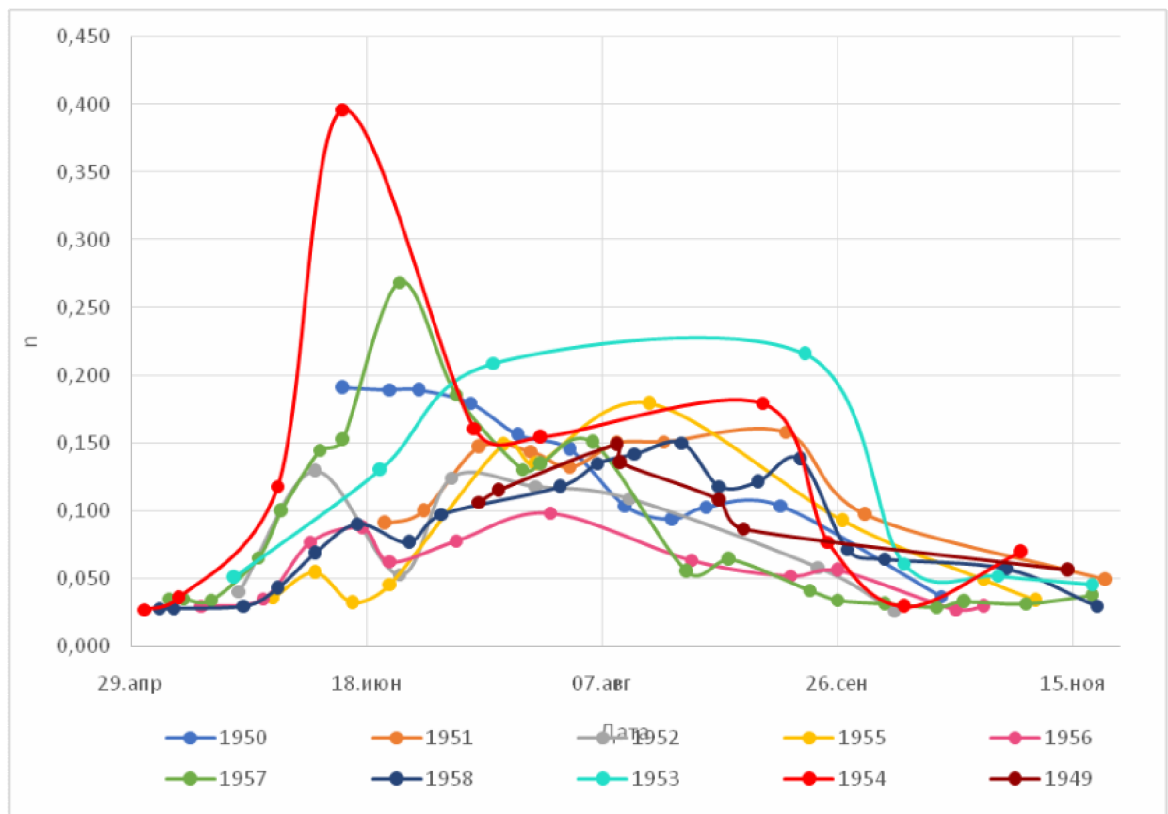
–

n

15

1954

13



4.1

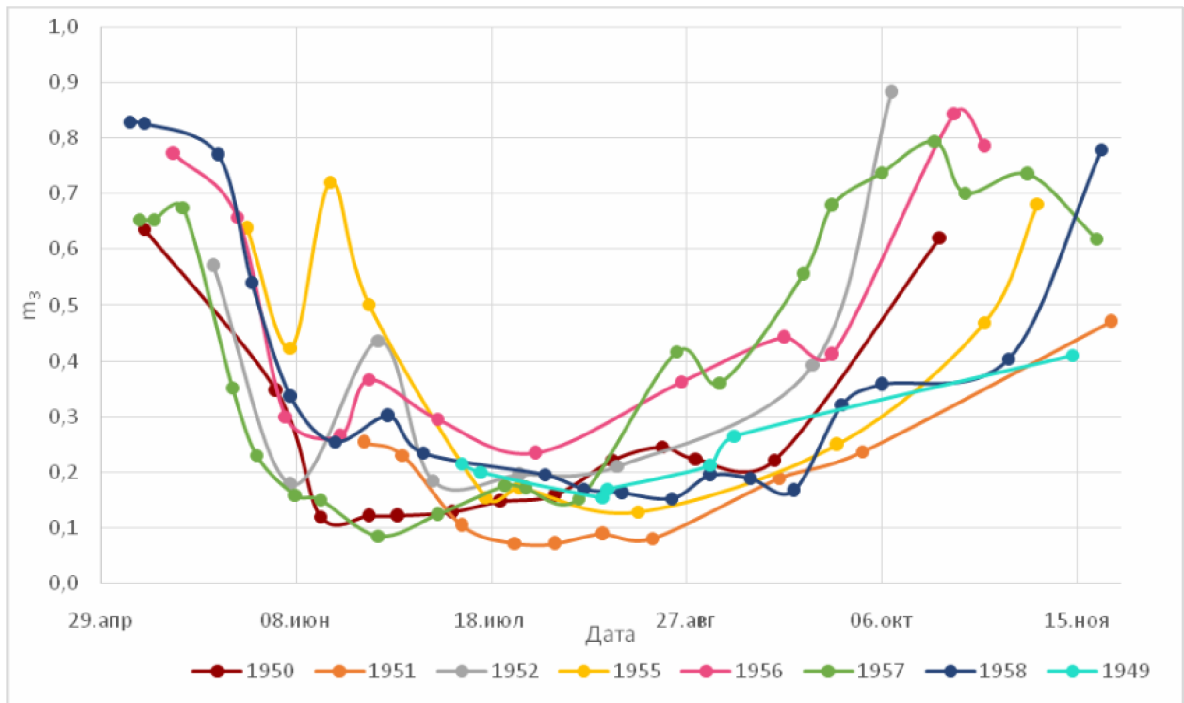
n

— . , 1949– 1958 .

(4.2)

m_3 ,

m_3 ,



3.2

м₃

— . , 1949 – 1958

:

1. / — ; , 2003.
2. . . . — .: , 1980.
3. . . . , . . . — .: , 1990.
4. . . . — .: , 1989.
5. [. . . .] - <https://ru.wikipedia.org/wik>
6. . . . , . . . // , 2001, 1.
7. — .: , 1960.
8. . . . // V . « . . . » . — .: , 1999.
9. — . . — .: , 1969.
10. , 1955.

11. – .: , 1982.
12. – .: , 1988.
13. – .: , 1969
14. – .: , 1954. 1, .: 1955, 2.
15. – .: , 1981.
16. (.): / – ; , 2016.
17. : / – ; , 1962.
18. Wolski Krzysztof. Seasonal changes in hydraulic flow conditions in overgrown lowland river. – Ecological Engineering. – June 2019.
19. River plants may play major role in health of ocean coastal waters. - Massachusetts Institute of Technology. - January 2008.
20. Coon, William F. Estimation of roughness coefficients for natural stream channels with vegetated banks / by William F. Coon ; prepared in cooperation with the New York State Department of Transportation, 1998 .
21. Robert D. Jarrett. Determination of roughness coefficients for streams in Colorado. - Lakewood, Colorado, 1985.
22. Donald W. Knight. River hydraulics – a view from midstream. - Journal of Hydraulic Research Vol. 51, No. 1 (2013) .
23. Determination of the Manning Coefficient from Measured Bed Roughness in Natural Channels. – Washington: geological survey water-supply paper, 1970.

24. , . 77. . ,
- 1960.
25.
- ∴ - , 1990.
26. -- ∴
, 1975.
27.
∴- ∴ , 1957.
28.
. . 1 - ∴ , 1967.
29. Knight A.C.E. Rationalized Energy-loss parameters for channels. J. Hydraulics Engineering. T.144, 1988.
30.
- « » , « » , 1991 .
31.
-- ∴ , 1992.
32.
. - ∴ , 1994.

