

УДК 556:628.29

Основные расчетные гидрологические характеристики систем очистки поверхностного стока в северо-западной зоне России

Ю. А. Канцибер, А. Б. Пономарев, В. И. Штыков

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Канцибер Ю. А., Пономарев А. Б., Штыков В. И. Основные расчетные гидрологические характеристики систем очистки поверхностного стока в северо-западной зоне России // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2023. — Т. 20. — Вып. 4. — С. 801–810. DOI: 10.20295/1815-588X-2023-4-801-810

Аннотация

Цель: Действующие в России нормативные и методические документы, касающиеся очистки поверхностного стока с селитебных территорий, не дают разъяснений по вопросу эффективности работы системы очистки с точки зрения допускаемой ими возможности загрязнения водных объектов. Не исследованы вероятность возникновения загрязнения и кратность разбавления неочищенных стоков. Цель состоит в разработке способа определения гидрологических характеристик стока, необходимых для вероятностной оценки кратности разбавления, допустимых концентраций и сбросов загрязненных поверхностных вод. **Методы:** На основании данных наблюдений четырнадцати метеостанций северо-запада России исследована вероятностная связь характеристик стока с застроенных территорий и реки-водоприемника, учитывающая основы теории вероятности и гидрологических расчетов минимального стока. Проведены расчеты, и установлены зависимости числа дней с осадками и их относительной суммы в теплый период года от максимального суточного слоя осадков. Найдена математическая связь между повторяемостью дождя и числом возможных случаев загрязнения водного объекта. **Результаты:** Разработан способ расчета вероятных значений характеристик осадков, минимального стока воды в реке-водоприемнике и кратности разбавления загрязняющих веществ в зависимости от допустимой повторяемости негативных последствий от загрязнения речных вод и коэффициента корреляции обеспеченностей минимального стока воды с застроенных территорий и в реке-водоприемнике. **Практическая значимость:** Способ расчета гидрологических характеристик стока позволит более обоснованно и точнее определить необходимую степень очистки сточных вод, производительность и параметры очистных сооружений, а в ряде случаев — снизить степень загрязнения водотоков.

Ключевые слова: Поверхностный сток, очистные сооружения, загрязнение водного объекта, водный объект, осадки, гидрологические характеристики, сток, расходы воды, половодье, дождевой паводок, кратность разбавления, обеспеченность, повторяемость, надежность.

Введение

При проектировании систем очистки сточных вод наряду с содержанием загрязняющих веществ (ЗВ) в сбросных и речных водах должны определяться расчетные гидрологические характеристики стока (ГХ) с селитебных и производственных территорий (ЗТ), а также в реках-водоприемниках.

Однако в действующих на территории РФ нормативно-методических документах [1, 2] рекомендуемые величины расчетных обеспеченностей расходов и объемов речного стока и стока с ЗТ не увязаны между собой и не имеют достаточно объективных климатических, гидрологических и технико-экономических обоснова-

ний. Конструкции и параметры очистных сооружений (ОС) рассчитывают в основном на прием и очистку поверхностного стока в маловодные и средние по водности годы, что, естественно, должно привести к увеличению загрязнения водных объектов при сбросе максимального стока с ЗТ через разделительные камеры (даже при использовании регулирующих резервуаров), считая его сравнительно чистым, т. е. имеющим меньшее содержание загрязняющих веществ в воде. Таким образом, занижая расчетные расходы загрязненных вод, поступающих на ОС, мы уменьшаем затраты на их строительство и эксплуатацию, но в то же время увеличиваем экологический ущерб от загрязнения водных объектов.

В качестве расчетного (фонового) расхода **речного** стока, определяемого выше выпуска сточных вод в реки-водоприемники (Q_p), принимается, как правило, **минимальный среднемесячный (30-дневный) расход 95 % обеспеченности** ($p_m = 95 \%$) в лимитирующие периоды зимней и летней межени перед половодьем и дождевым паводком, которые происходят в пределах водосбора ЗТ [1]. Они находятся в соответствии с СП 529.132800.2023 [3] и пособием [4], путем использования данных наблюдений, расчетных формул, картограмм и т. д.

Обеспеченность (p_c) расхода **талых** вод с ЗТ, поступающих в водоток и на ОС, согласно [1] рекомендуется принимать в пределах 50–95 % обеспеченности, что, как отмечалось выше, допускает возможность загрязнения речных вод в многоводные годы. Поэтому учитывая высокую степень загрязненности талых вод, необходимо, очевидно, ориентироваться на их **полное** отведение на ОС, предусматривая, по нашему мнению, определение их производительности и параметров по расчетному расходу обеспеченностью менее 50 % (при его превышении расхода дождевых вод, отправляемого на ОС).

Обеспеченность предельного суточного расхода очищаемых **дождевых** вод с ЗТ (q_c) устанавливается исходя из того, что не менее 70 % **среднегодового** объема стока, наблюдаемого при выпадении осадков небольшой интенсивности, должна отводиться на ОС. Однако в зависимости от водности года, вида и степени загрязнения территории ЗТ объемы наиболее загрязненного стока поверхностных вод могут колебаться от 50 до 100 % его годового объема [5].

Методы

Результаты расчетов, выполненных в соответствии с рекомендациями [1] по данным справочников [6–8] для 14 метеостанций Северо-Запада РФ (СЗ РФ), показали, что 70% среднегодовому объему стока загрязненных поверхностных вод будут соответствовать расходы воды с ЗТ обеспеченностью $p_c > 99 \%$ или периоду однократного превышения расчетной интенсивности дождя $P = 0,07–0,11$ года. При этом максимальный суточный слой осадков ($h_{70\%}$), от величины которого зависит расход **дождевых** вод, подаваемый на ОС, изменяется в пределах от 11 до 15 мм (табл. 1).

Необходимо отметить, что накапливаемые суммы объемов стока в расчетах были отнесены к верхнему пределу диапазона изменения суточного слоя осадков, а не к среднему их значению [1]. Невыполнение этого достаточно обоснованного условия приводит к занижению величин максимального суточного слоя осадков и расхода дождевого стока, направляемого на ОС, примерно на 15–20 %.

В соответствии с рекомендациями [1, 5]:

$$q_c = 10 h_{70\%} \varphi_q F_{\text{л}}, \text{ м}^3/\text{сут}, \quad (1)$$

где φ_q — средневзвешенный коэффициент стока дождевых вод;

$F_{\text{л}}$ — площадь стока, отводимого дождевой канализацией, га.

Таблица 1. Характеристики осадков в теплый период года в северо-западной зоне РФ

Метеостанция	X, мм	T, сут	Число дней с осадками		$h_{p=1\text{год}}$, мм	$h_{70\%}$, мм	P, год
			> 0	$\geq 0,1$			
Мурманск	255	178	104	77	19	11,6	0,11
Мончегорск	273	169	94	74	23	11,7	0,09
Лоухи	295	175	90	72	21	12,2	0,1
Паданы	326	194	107	90	20	11	0,08
Олонец	396	205	115	95	23	13,8	0,09
Выборг	450	215	130	110	26	13	0,07
Санкт-Петербург	418	222	108	100	24	12,2	0,07
Ефимовская	473	210	125	105	28	14,4	0,08
Новгород	402	218	115	99	27	13	0,08
Боровичи	413	214	123	108	23	12,2	0,08
Псков	419	226	129	104	31	13	0,09
Опочка	460	220	140	115	30	13,3	0,08
Смоленск	457	230	122	98	28	13,8	0,08
Тверь	444	215	123	97	27	12,6	0,08

Примечание. X — сумма осадков за теплый период года, продолжительность, которого (T) ограничена датами перехода температуры воздуха выше (весной) и ниже (осенью) 0 °С.

Предельный суточный расход талых и дождевых вод, направляемых на ОС из разделительной камеры в коллекторе для полной раздельной системы канализации, устанавливается также в зависимости от коэффициента разделения расхода воды с ЗТ, т. е.:

$$q_c = K_{oc} q_{p\%}, \text{ м}^3/\text{сут}, \quad (2)$$

где K_{oc} — коэффициент разделения расхода воды с ЗТ, поступающего в разделительную камеру на коллекторе;

$q_{p\%}$ — максимальный суточный расход талых (дождевых) вод $p\%$ обеспеченности, который формируется на ЗТ и поступает в коллектор до разделительной камеры, $\text{м}^3/\text{сут}$.

Таким образом, величина коэффициента разделения расхода дождевых вод с ЗТ будет равна:

$$K_{oc} = 10 h_{70\%} \Phi_q \frac{F_{\text{л}}}{q_{p\%}}. \quad (3)$$

Максимальный суточный расход талых (дождевых) вод $p\%$ обеспеченности, поступающий в коллектор до разделительной камеры, определяется в соответствии с рекомендациями [1, 9]. Причем его обеспеченность должна соответствовать периоду однократного превышения расчетного расхода талых (дождевых) вод, задаваемому в гидравлических расчетах коллектора.

При **полном** (100 %) отведении среднегодового объема загрязненного дождевого стока на ОС, принимаемом, как правило, для территорий предприятий 2 группы, $p_c \leq 63\%$ ($P \geq 1$ года) [1, 5]. Максимальный суточный слой осадков для $P = 1$ году ($h_{p=1\text{год}}$) на территории СЗ РФ колеблется в пределах от 19 до 31 мм. Для многолетних лет 5–10 % обеспеченности ($P \approx 20$ –10 лет) он возрастает в 1,5–2 раза и более.

Аналогичные расчеты максимальных суточных осадков также проведены для условий отведения на ОС 50, 80, 90 и 100 % среднегодового объема поверхностного стока с ЗТ. Причем рас-

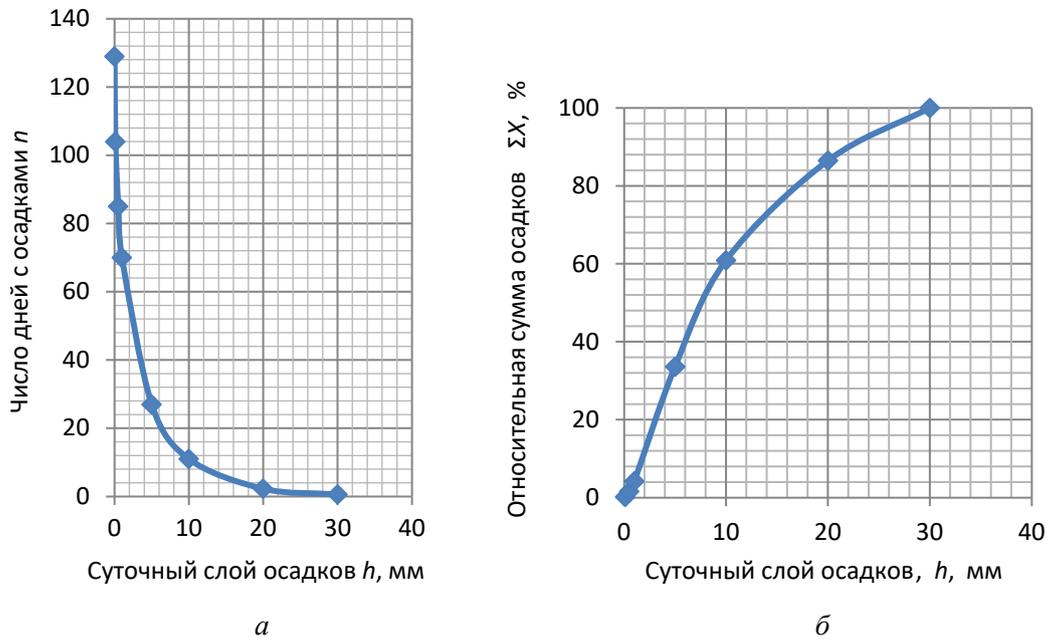


Рис. 1. Зависимости $\Sigma X = f(h)$ (б) и $n = f(h)$ (а). Псков (пример)

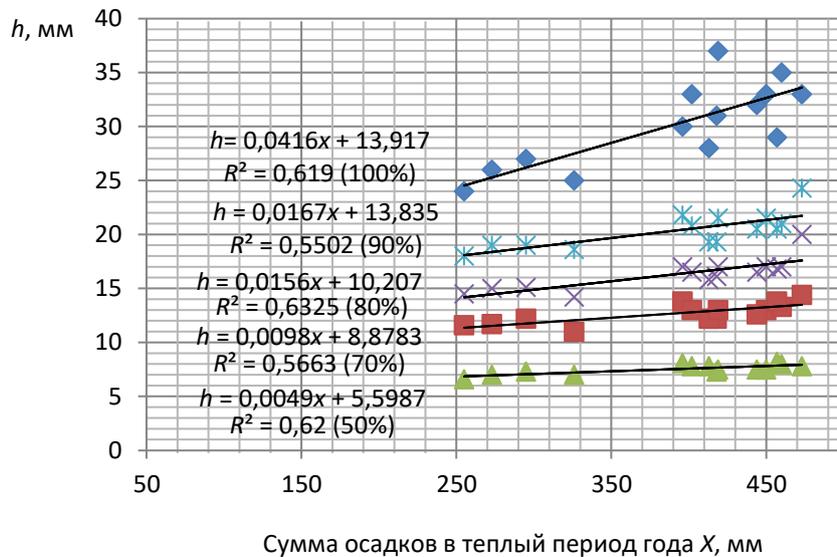


Рис. 2. Зависимости между максимальными суточными слоями осадков (h) и суммой осадков в теплый период года (X) при отведении на ОС 100, 90, 80, 70, 50 % среднегодового объема стока для территории СЗ РФ

четные характеристики осадков для каждой метеостанции определены по построенным графикам связи числа дней с осадками (n) и их относительной суммы (ΣX , %) с максимальным суточным слоем осадков в теплый период (рис. 1).

Связи между максимальными суточными слоями осадков и их суммой в теплый период

года (X) оказались достаточно тесными (рис. 2). Поэтому уравнения регрессии, приведенные в поле рис. 2, можно использовать для практических расчетов суточных осадков (при отведении на ОС от 50 до 100 % среднегодового объема поверхностных вод) с ошибкой в среднем не более 10 %.

Результаты

Обеспеченность тесно связана с **повторяемостью** величины гидрологической характеристики, т. е. с числом лет, в течение которых она встречается (превышается) в среднем 1 раз [3]. При проектировании систем водоотведения и очистки стока она также может характеризовать продолжительность периода «бесперебойной» их работы, когда в расчетном (контрольном) створе водотока (или в местах выпуска сточных вод) превышение ПДК загрязняющих веществ в речной воде будет наблюдаться в среднем 1 раз. В этом единичном или многократных случаях создаются негативные экономические и экологические последствия от загрязнения речных вод, наблюдаемые, как правило, в лимитирующие меженные периоды с **минимальным** стоком воды в водоприемнике.

В связи с частым выпадением в теплый период года слабоинтенсивных осадков и прохождением вызванных ими сравнительно небольших дождевых паводков, при расчетах параметров ливневой канализации и ОС наряду с обеспеченностью гидрологической характеристики используется период однократного превышения расчетной интенсивности дождя (P , год), который зависит от среднего числа дней с осадками, превышающими расчетную суточную интенсивность их выпадения (n , сут), а также от продолжительности теплого периода года (T , сут), т. е.:

$$P = \left(\frac{T}{365} \right) \frac{1}{n}. \quad (4)$$

Отметим, что, по данным климатических справочников [6–8], в южных районах ЕТ РФ отношение $\left(\frac{T}{365} \right) \approx 0,9 - 1$. В северных оно уменьшается до 0,4–0,5.

Между обеспеченностью (p) и периодом однократного превышения (P) существует зависи-

мость, выраженная законом распределения вероятностей Пуассона [1, 5, 10]:

$$p \approx (1 - e^{-1/p}) \cdot 100, \% \quad (5)$$

или

$$P \approx \frac{1}{1 - \ln \frac{1}{1 - 0,01 p}}.$$

Тогда обеспеченность безотказной (бесперебойной) работы ОС, т. е. когда отсутствует загрязнение речных вод в контрольном створе, или так называемая **гидроэкологическая надежность ОС** будет равна:

$$P_{\text{гн}} = (100 - p), \% \quad (6)$$

В табл. 2 приведены результаты расчетов обеспеченности бесперебойной работы ОС и числа возможных случаев загрязнений водного объекта **дождевыми** паводками за период эксплуатации ОС в зависимости от продолжительности периода однократного превышения или повторяемости загрязнения речных вод. Из нее следует, что с увеличением числа случаев загрязнения речных вод уменьшается обеспеченность бесперебойной работы или надежность ОС.

Допустимая повторяемость или период однократного повышения расчетной интенсивности дождя, так же как и расчетная обеспеченность гидрологических характеристик, которая определяется при обосновании конструкций и параметров гидротехнических сооружений, должна устанавливаться в результате сравнительных технико-экономических расчетов в зависимости от характера использования водного объекта и капитальности сооружения, в частности системы водоотведения и очистки. При этом возможное число случаев загрязнения водного объекта (N_{Σ}) за весь период эксплуатации ОС (M) составит:

Таблица 2. Период однократного превышения и обеспеченность бесперебойной работы очистных сооружений (дождевые паводки)

Повторяемость или период однократного превышения (P), год	Обеспеченность, p, %	Обеспеченность бесперебойной работы ОС (p _{гн}), %	Число возможных случаев загрязнения водного объекта в теплый период года (N _Σ)
30	3,2	96,8	0,9
10	9,5	90,5	2,7
5	18	82	5,5
2	39	61	14
1	63	37	27
0,5	86	14	55
0,2	99	1	137
0,1	99,9	0,1	274
0,05	99,99	0,01	548

Примечание. T = 200 сут, M = 50 годам.

– для неоднократно повторяющихся в течение теплого периода года **дождевых паводков** учетом формулы (3):

$$N_{\Sigma} = Mn = \frac{MT}{365P}; \quad (7)$$

– при однократном в течение года событии, характерном, например, для **весеннего половодья**, величина N_Σ, очевидно, составит:

$$N_{\Sigma} = \frac{M}{N} = \frac{Mp}{100}, \quad (8)$$

где M — проектный период эксплуатации ОС, год;

$N = \frac{100}{p}$ — повторяемость при обеспеченности p ≤ 50 %, год [3].

Формулу (7) следует также использовать при определении суммарных объемов дождевого стока воды и масс ЗВ, необходимых для оценки вероятного экологического ущерба от загрязнения водного объекта.

Как известно, талый, дождевой или дренажный сток с ЗТ недостаточно тесно связан с пред-

шествующим минимальным стоком воды в реке-водоприемнике. Коэффициент их корреляции (r) изменяется, как правило, в пределах от 0,3 до 0,7 [9, 10]. В работе [11] представлены зависимости, которые позволяют определить:

– обеспеченность совместного появления значений характеристик стока с ЗТ и в реке, а также повторяемость загрязнения речных вод и надежность работы ОС;

– обеспеченность минимального расхода воды в реке при заданной обеспеченности расхода сбрасываемых очищенных стоков с ЗТ (p_с > p_{см}), допустимой повторяемости негативных последствий от загрязнения речных вод и коэффициента корреляции ГХ.

В качестве примера в табл. 3 приведены результаты расчетов обеспеченности минимального расхода воды в реке-водоприемнике, выполненные по этим зависимостям.

Кратность основного разбавления сточных вод до контрольного створа в водотоке, необходимая для расчетов допустимой концентрации ЗВ, НДС и др., определяется отдельно для весеннего половодья и летнего (летне-осеннего) дождевого паводка по формулам, приведенным в рекомендациях [1, 12].

Таблица 3. Обеспеченность минимальных расходов воды в реке при обеспеченности расхода сбрасываемого очищенного дождевого стока $p_c = 90$ и 99 %

Допустимая повторяемость или период однократного превышения, год	$p_{см}, \%$	Обеспеченность минимальных расходов воды в реке при различной корреляции с расходами дождевых вод с ЗТ, %				
		0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
0,2	1/1	1,1/1	1,1/1	1,1/1	1/1	1/1
0,5	14	15,5/14,1	15/14,1	14,7/14,1	14,4/14	14/14
2	61	68/61,6	66/61,5	64/61,3	62,6/61,1	61/61
5	82	91/82,8	88,6/82,7	86,3/82,4	84,1/82,2	82/82
10	90,5	/91,4	97,8/91,2	95,2/91	92,8/90,7	90,5/90,5
20	95,1	/96	/95,8	/95,6	98/95,3	95,1/95,1

Примечания. 1. Перед дефисом приведены результаты расчетов при $p_c = 90$ %, после — при $p_c = 99$ %.
2. $p_{см}$ — обеспеченность совместного появления стока с ЗТ и в реке.

Таблица 4. Результаты расчетов кратности разбавления при обеспеченности расхода сбрасываемого очищенного дождевого стока $p_c = 90$ и 99 %

Допустимая повторяемость или период однократного превышения, год	$p_{см}, \%$	$p_m, \%$	Расходы воды, m^3/c		Кратность основного разбавления сточных вод
			в реке выше выпуска сточных вод ($Q_{мр}$)	в устье коллектора очищенных сточных вод (q_c)	
0,5	14	14,4/14	2,05/1,99	0,097/0,065	21,1/30,6
2	61	62,6/61,1	1,22/1,18	0,097/0,065	12,6/18,2
5	82	84,1/82,2	0,91/0,87	0,097/0,065	9,4/13,4
10	90,5	92,8/90,7	0,77/0,73	0,097/0,065	7,9/11,2
20	95,1	98/95,3	0,65/0,61	0,097/0,065	6,7/9,4

Исходные данные: $F_p = 450$ км², $F_{зт} = 70$ га. Для реки: $Q_c = 1,45$ м³/с, $C_v = 0,45$, $C_s/C_v = 3$ [13], $\alpha = 1$, $r = 0,6$. Перед дефисом приведены результаты расчетов при $p_c = 90$ % ($P = 0,4$ года), после — при $p_c = 99$ % ($P = 0,2$ года).

Кратность основного разбавления, так же как и расходы воды, от которых она зависит, целесообразно вычислять с учетом связи обеспеченностей этих расходов.

В табл. 4 приведены результаты расчетов вероятной кратности разбавления очищенных дождевых стоков, сбрасываемых в водоприемник.

Как показали расчеты, выполненные для различных вариантов исходных данных, учет связи обеспеченностей расходов воды позволит повысить точность определения кратности разбавления сточных вод в среднем на 20–30 % и более.

Выводы

1. Проведены многовариантные расчеты характеристик осадков в зависимости от определяющих факторов. Получены уравнения регрессии, которые можно использовать для расчета максимальных суточных осадков и предельных расходов в северо-западной зоне РФ (при отведении на ОС от 50 до 100 % годового объема дождевых поверхностных вод) с ошибкой в среднем не более 10 %.

2. Определена обеспеченность бесперебойной работы ОС и числа возможных случаев загрязнений водного объекта за период эксплуатации ОС в зависимости от продолжительности периода

однократного превышения или повторяемости загрязнения речных вод.

3. Вычислены вероятные значения кратности разбавления сточных вод, учитывающие допустимую повторяемость негативных последствий от загрязнения речных вод, и коэффициент корреляции обеспеченностей минимального стока воды с ЗТ и в реке-водоприемнике.

4. Учет связи обеспеченностей расходов воды с ЗТ и в водоприемнике позволит повысить точность определения кратности разбавления сточных вод и допустимой концентрации ЗВ в очищаемом стоке в среднем на 20–30 % и более.

Библиографический список

1. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. — М.: ФГУП «НИИ Водгео», 2015. — 146 с.

2. СП 32.13330.2018. Канализация. Наружные сети и сооружения. СНИП 2.04.03—85. Утв. приказом Министерства строительства и ЖКХ РФ (Минстрой России) от 25 декабря 2018 г. № 680/пр и введен в действие с 26 июня 2019 г. — М.: Стандартинформ, 2019. — 76 с.

3. СП 529.1325800.2023. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Утв. приказом Министерства строительства и ЖКХ РФ от 11 сентября 2023 г. № 654/пр. — М.: ФАУ «ФЦС», 2023. — 103 с.

4. Пособие по определению основных расчетных гидрологических характеристик. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 447 с.

5. Дикаревский В. С. Отведение и очистка поверхностных сточных вод / В. С. Дикаревский, А. М. Курганов, А. П. Нечаев и др. — Л.: Стройиздат. Лен. отд., 1990. — 223 с.

6. Справочник по климату СССР. Ч. 1–4. — Л.: Гидрометеиздат, 1972.

7. СП 131.13330.2020. Строительная климатология (СНИП 23-01—99). Утв. приказом Министерства строи-

тельства и ЖКХ РФ от 24 декабря 2020 г. № 859/пр. — М.: ФАУ «ФЦС», 2020. — 150 с.

8. Научно-прикладной справочник по климату СССР. — Серия 3 «Многолетние данные». Ч. 1–6. — Вып. 3. — Л.: Гидрометеиздат, 1988. — 693 с.

9. Канцибер Ю. А. Расчеты характеристик поверхностного стока систем водоотведения на селитебных и производственных территориях Северо-Запада РФ / Ю. А. Канцибер, А. Б. Пономарев // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2016. — Т. 13. — № 1(46). — С. 68–74.

10. Картелишвили Н. А. Теория вероятностных процессов в гидрологии и регулирование речного стока / Н. А. Картелишвили. — Л.: Гидрометеиздат, 1967. — 291 с.

11. Набойченко А. А. К оценке расчетных характеристик стока загрязненных поверхностных вод с застроенных территорий / А. А. Набойченко, Ю. А. Канцибер // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы: сборник трудов LXXVIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 16–23 апреля 2018 года. — СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2018. — С. 245–249.

12. Жуков А. И. Методы очистки производственных сточных вод / А. И. Жуков, И. Л. Монгайт, И. Д. Родзиллер. — М.: Химия, 1996. — 270 с.

13. Ресурсы поверхностных вод СССР. — Том 2. Карелия и Северо-Запад, ч. 1–2. — Л.: Гидрометеиздат, 1972.

Дата поступления: 04.10.2023

Решение о публикации: 28.11.2023

Контактная информация:

КАНЦИБЕР Юрий Алексеевич — канд. техн. наук, доц.; kanziber3@yandex.ru

ПОНОМАРЕВ Андрей Борисович — канд. техн. наук, доц.; pollnom@yandex.ru

ШТЫКОВ Валерий Иванович — д-р техн. наук, проф.; shtykov41@mail.ru

Basic Calculated Hydrological Characteristics of Surface Runoff Treatment Systems in the North-Western Region of Russia

Yu. A. Kantsiber, A. B. Ponomarev, V. I. Shtykov

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Kantsiber Yu. A., Ponomarev A. B., Shtykov V. I. Basic Calculated Hydrological Characteristics of Surface Runoff Treatment Systems in the North-Western Region of Russia // *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2023, vol. 20, iss. 4, pp. 801–810. (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2023-4-801-810

Summary

Purpose: The normative and methodological documents in Russia regarding the treatment of surface runoff from residential areas do not provide explanations on the effectiveness of the treatment system from the point of view of the possibility of pollution of water bodies they allow. The probability of pollution and the dilution ratio of untreated wastewater have not been studied. The goal is to develop a method for determining the hydrological characteristics of the runoff necessary for the probabilistic assessment of dilution factors, permissible concentrations and discharges of contaminated surface waters. **Methods:** Based on observational data from fourteen weather stations in the North-West of Russia, the probabilistic relationship between the characteristics of runoff from built-up areas and the receiving river has been studied, taking into account the basics of probability theory and hydrological calculations of minimum runoff. Calculations have been carried out and the dependence of the number of days with precipitation and their relative amount in the warm period of the year on the maximum daily precipitation layer has been established. A mathematical relationship has been found between the frequency of rain and the number of possible cases of pollution of a water body. **Results:** A method has been developed for calculating the probable values of precipitation characteristics, minimum water runoff in the receiving river and the dilution factor of pollutants depending on the permissible frequency of negative consequences from river water pollution and the correlation coefficient of the probability of minimum water flow from built-up areas and in the receiving river. **Practical significance:** The method for calculating the hydrological characteristics of runoff will make it possible to more reasonably and accurately determine the required degree of wastewater treatment, the productivity and parameters of treatment facilities, and in some cases, to reduce the degree of pollution of watercourses.

Keywords: Surface runoff, treatment facilities, pollution of a water body, water body, precipitation, hydrological characteristics, runoff, water rate, flood, rain flood, dilution factor, availability, frequency, reliability.

References

1. *Rekomendacii po raschetu sistem sbora, otvedeniya i ochistki poverhnostnogo stoka s selitebnyh territorij, ploshchadok predpriyatij i opredeleniyu uslovij vypuska ego v vodnye ob'ekty* [Recommendations for calculating systems for collecting, draining and purifying surface runoff from residential areas, enterprise sites and determining the conditions for its release into water bodies]. Moscow: FGUP "NII VODGEO" Publ., 2015, 146 p. (In Russian)

2. *SP 32.13330.2018. Kanalizatsiya. Naruzhnye seti i sooruzheniya. SNiP 2.04.03—85. Utv. prikazom Ministerstva stroitel'stva i ZhKKh RF (Minstroy Rossii) ot 25 dekabrya 2018 g. № 680/pr i vveden v deystvie s 26 iyunya 2019 g.* [SP 32.13330.2018. Sewerage. External networks and structures. SNiP 2.04.03—85. Approved by order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation (Ministry of Construction of Russia) dated December 25, 2018 № 680/pr and put into effect on

June 26, 2019]. Moscow: Standartinform Publ., 2019, 76 p. (In Russian)

3. *SP 529.1325800.2023. Opredelenie osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik. Utv. prikazom Ministerstva stroitel'stva i ZhKKh RF ot 11 sentyabrya 2023 g. № 654/pr* [SP 529.1325800.2023. Determination of the main calculated hydrological characteristics. Approved by order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation dated September 11, 2023 № 654/pr]. Moscow: FAU "FTsS" Publ., 2023, 103 p. (In Russian)

4. *Posobie po opredeleniyu osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik* [Guide to determining the basic design hydrological characteristics]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1984, 447 p. (In Russian)

5. Dikarevskij V. S., Kurganov A. M., Nechaev A. P. *Otvedenie i ochistka poverhnostnykh stochnykh vod* [Disposal and treatment of surface wastewater]. Leningrad: Stroiizdat Publ., 1990, 223 p.

6. *Spravochnik po klimatu SSSR* [USSR Climate Guide]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1972, vol. 1–4. (In Russian)

7. *SP 131.13330.2020. Stroitel'naya klimatologiya (SNiP 23-01—99). Utv. prikazom Ministerstva stroitel'stva i ZhKKh RF ot 24 dekabrya 2020 g. № 859/pr* [SP 131.13330.2020. Construction climatology (SNiP 23-01—99). Approved by order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation dated December 24, 2020 № 859/pr]. Moscow: FAU "FTsS" Publ., 2020, 150 p. (In Russian)

8. *Nauchno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 3 "Mnogoletnie dannye", ch. 1–6, vyp. 3* [Scientific and applied reference book on the climate of the USSR, series 3 "Long-term data", parts 1–6, vol. 3]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1988, 693 p. (In Russian)

9. Kantsiber Yu. A., Ponomarev A. B. *Raschety kharakteristik poverkhnostnogo stoka sistem vodootvedeniya na selitebnykh i proizvodstvennykh territoriyakh Severo-Zapada RF* [Calculation of characteristics of surface drainage in water disposal systems in habitable and production territories in northwest Russian Federation]. *Izvestiya*

Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya [Proceedings of Petersburg Transport University]. 2016, vol. 13, Iss. 1, pp. 68–74. (In Russian)

10. Kartvelishvili N. A. *Teoriya veroyatnostnykh processov v gidrologii i regulirovanie rechnogo stoka* [Theory of probabilistic processes in hydrology and river flow regulation]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1967, 291 p. (In Russian)

11. Naboichenko A. A., Kanziber Yu. A. *K ocnke raschetnykh kharakteristik stoka zagryaznennykh poverhnostnykh vod s zastroennykh territorij* [To the assessment of the calculated characteristics of the runoff of polluted surface waters from built-up areas]. *Transport: problemy, idei, perspektivy: sbornik trudov LXXVIII Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchennykh, Sankt-Peterburg, 16–23 aprelya 2018 goda* [Transport: problems, ideas, prospects: Proceedings of the LXXVIII All-Russian Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduate Students and Young Scientists, St. Petersburg, April 16–23, 2018]. St. Petersburg: St. Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I Publ., 2018, pp. 245–249. (In Russian)

12. Zhukov A. I., Mongajt I. L., Rodziller I. D. *Metody ochistki proizvodstvennykh stochnykh vod* [Methods for treating industrial wastewater]. Moscow: Chemistry Publ., 1996, 270 p. (In Russian)

13. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Tom 2. Kareliya i Severo-Zapad, ch. 1–2* [Surface water resources of the USSR. Volume 2. Karelia and the North-West, parts 1–2]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1972. (In Russian)

Received: October 04, 2023

Accepted: November 28, 2023

Author's information:

Yuri A. KANTSIBER — PhD in Engineering, Associate Professor; kanziber3@yandex.ru

Andrei B. PONOMAREV — PhD in Engineering, Associate Professor; pollnom@yandex.ru

Valery I. SHTYKOV — Dr. Sci. in Engineering, Professor; shtykov41@mail.ru