

УДК 556.5.06

Ю. А. Канцибер, А. Б. Пономарев**РАСЧЕТЫ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ НА СЕЛИТЕБНЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДА РФ**

Дата поступления: 21.12.2015

Решение о публикации: 09.02.2016

Цель: Обосновать способы оценки расчетных расходов и объемов загрязненного талого и дождевого стока воды для систем водоотведения на селитебных и производственных территориях применительно к условиям Северо-Запада РФ. **Методы:** Использован статистический метод обобщений и аналогий. За основу приняты нормативно-методические документы и данные о природных условиях территории. **Результаты:** Получены и обоснованы способы оценки расчетных расходов и объемов загрязненного талого и дождевого стока воды. **Практическая значимость:** Полученные данными способами расчетные гидрологические характеристики могут быть использованы для решения прикладных задач, в первую очередь, для расчета параметров систем водоотведения (ливневой, бытовой и производственной канализации, очистных сооружений) при новом строительстве и реконструкции.

Застроенная территория, система водоотведения, гидрологическая характеристика, талый сток, дождевой сток, расчетный расход, объем стока.

Yuriy A. Kantsiber, Cand. Sci. (Eng.), senior researcher, associate professor, kanziber3@yandex.ru, ***Andrey B. Ponomarev**, Cand. Sci. (Eng.), associate professor, pol1nom@yandex.ru (Petersburg State Transport University) CALCULATION OF CHARACTERISTICS OF SURFACE DRAINAGE IN WATER DISPOSAL SYSTEMS IN HABITABLE AND PRODUCTION TERRITORIES IN NORTH-WEST RUSSIAN FEDERATION

Objective: To justify methods of evaluation of calculated flow rates and volumes of polluted snowmelt and stormwater run-off for water disposal systems in habitable and production territories relating to the conditions of north-west Russian Federation. **Methods:** A statistical method of generalisation and analogy was applied. Regulatory and procedural guidelines and data regarding natural conditions of the territory are taken as a basis. **Results:** Methods for evaluation of calculated flow rates and volumes of polluted snowmelt and stormwater run-off were obtained and justified. **Practical importance:** Calculated hydrological characteristics obtained in this manner can be used to solve applied tasks, primarily to calculate parameters of water disposal systems (stormwater, domestic and industrial sewage, treatment facilities) in new construction and reconstruction.

Built-up territory, water disposal system, hydrological characteristic, snowmelt run-off, stormwater run-off, calculated flow rate, run-off volume.

Система водоотведения (СВ) предназначена для сбора, отведения и очистки поверхностных, дренажных, бытовых и производственных сточных вод с застраиваемых и застроенных селитебных и производственных территорий (ЗТ), в том числе с объектов железных и автомобильных дорог.

Гидрологические характеристики стока воды с ЗТ необходимо рассчитывать:

- для обоснования конструкций и параметров систем водоотведения (ливневой, бытовой и производственной канализации, очистных сооружений) при новом строительстве и реконструкции;

- при водохозяйственных балансовых вычислениях по учету объемов сбросных вод;
- для оценки предельно допустимых сбросов воды в реки-водоприемники и необходимой степени очистки поверхностных и сточных вод с ЗТ;
- при разработке проектов нормативов допустимых сбросов сточных вод и платы за них различными водопользователями.

Загрязненный поверхностный сток с ЗТ, как и речной сток в водоприемнике, имеет существенные особенности формирования в течение года, поэтому гидрологические характеристики СВ надо определять отдельно для весеннего половодья, дождевых паводков и меженных периодов.

К основным гидрологическим характеристикам СВ следует отнести расчетные расходы и объемы поверхностного, дренажного, бытового и производственного стока воды с ЗТ, а также речного стока в водоприемнике.

Способы расчетов гидрологических характеристик СВ должны основываться на действующих нормативно-методических документах, учитывать природные условия водосбора (района) и особенности ЗТ. При этом используются различные данные по климату, свойствам и литологии грунтов, гидрологическим и гидрогеологическим наблюдениям, конструкциям и параметрам СВ и другие, содержащиеся в справочных материалах, нормативно-методических документах, гидрологических ежегодниках, проектах строительства (реконструкции) СВ и пр.

Способы расчета характеристик поверхностного стока

К поверхностным сбросным водам относятся загрязненную талую, дождевую и поливную воду, стекающую с ЗТ непосредственно в водный объект или отводимую в него системой водоотведения [7].

Талые воды с ЗТ, поступающие в СВ и (или) непосредственно в водный объект при

таянии снега, формируют зимние паводки и весеннее половодье.

По данным [11], средняя продолжительность оттепелей в Северо-Западной зоне РФ (СЗ РФ), которые наблюдаются при неустойчивых морозах и снежном покрове в северных районах, как правило, в ноябре – первой половине декабря, а в южных и юго-западных – в ноябре – первой половине января, составляет 3–5 сут (табл. 1). При этом число зимних оттепелей уменьшается в северо-восточном направлении от 3–5 до 2–3.

Средний слой стока талых вод в период зимней оттепели достигает 3–4 мм, а в отдельные «теплые» зимы – 4–6 и более мм.

Однако максимальный талый сток с ЗТ наблюдается в весенний период при таянии накопленных за зиму запасов снега. Средний из наибольших запасов воды в снеге перед весенним снеготаянием в СЗ РФ изменяется от 80 до 140 мм (табл. 1), уменьшаясь в районах, прилегающих к крупным водоемам.

Температура воздуха на ЗТ весной в среднем на 1–2 °С выше, чем в пригородах (в естественных условиях). Это обстоятельство наряду с большей загрязненностью снежного покрова предопределяет более ранние сроки снеготаяния на ЗТ. Начало таяния снега на ЗТ наблюдается после прекращения устойчивых морозов, а сток талых вод из водонасыщенного снежного покрова – при переходе температуры воздуха примерно через –2...–3 °С (табл. 1). Средняя продолжительность склонового стока талых вод составляет 10–15 сут., возрастая до 15–20 сут. в многоводные годы (при больших снеговых запасах) повторяемостью 1 раз в 5–10 лет ($p = 10\text{--}20\%$). Таким образом, более короткий период снеготаяния и стока талых вод наблюдается, как правило, при меньших снеговых запасах на ЗТ.

Расчетный расход талых вод с ЗТ (среднесуточный за период весеннего снеготаяния) определяется по формуле

$$Q_{\text{ТВ}} = 10 \cdot \frac{H_c}{t_c} \cdot \varphi_t \cdot F \cdot K, \text{ м}^3/\text{сут.}, \quad (1)$$

ТАБЛИЦА 1. Климатические характеристики холодного периода года в Северо-Западной зоне РФ

Пункт (метеостанция)	Даты зимы	Дата наступления устойчивых морозов	Сумма осадков за зиму, мм	Запасы воды в снеге, мм	Дата прекращения устойчивых морозов	Дата перехода температуры воздуха весной выше	
						-2 °С	0 °С
Лоухи	19.10–23.04	13.11	172	201	30.03	13.04	23.04
Паданы	28.10–15.04	20.11	145	100	24.03	06.04	15.04
Пудож	26.10–09.04	26.11	160	110	20.03	01.04	09.04
Олонец	04.11–11.04	06.12	190	130	19.03	01.04	11.04
С.-Петербург	12.11–03.04	07.12	167	80	10.03	23.03	03.04
Тихвин	04.11–04.04	29.11	188	110	10.03	24.03	04.04
Николаевская	09.11–02.04	05.12	170	80	03.03	21.03	02.04
Веребье	03.11–01.04	02.12	230	140	07.03	20.03	01.04
Новгород	08.11–03.04	10.12	154	70	10.03	23.03	03.04
Боровичи	04.11–03.04	30.11	140	90	12.03	24.03	03.04
Валдай	03.11–05.04	27.11	183	100	14.03	25.03	05.04
Псков	13.11–01.04	12.12	138	70	08.03	20.03	01.04
Дно	11.11–31.03	07.12	164	80	07.03	19.03	31.03
Идрица	13.11–01.03	11.12	158	80	08.03	19.03	31.03

Примечания. 1. Датам начала и окончания зимы соответствуют даты перехода температуры воздуха ниже и выше 0 °С. 2. Запасы воды в снеге – средние из наибольших перед снеготаянием.

где H_c – среднемноголетний из наибольших перед снеготаянием запас воды в снеге, мм; принимается по данным [8, 11], а для отдельных пунктов СЗ РФ – по табл. 1; t_c – средняя продолжительность снеготаяния, сут.; φ_t – коэффициент стока талых вод в весенний период; F – площадь ЗТ, га; $K = 0,6–0,8$ – коэффициент, учитывающий частичный вывоз и окучивание снега на ЗТ.

Коэффициент стока талых вод в весенний период φ_t , учитывающий потери на заполнение понижений рельефа и испарение воды (инфильтрация в промерзшие грунты считается практически отсутствующей), определяется в виде средневзвешенной величины из частных значений с различным видом поверхности согласно данным [1, 5] или при-

нимается ориентировочно для ЗТ в пределах 0,6–0,8.

Так как в течение суток талый сток продолжается в среднем от 5 до 10 ч, то среднечасовой расход талых вод ($\text{м}^3/\text{ч}$) составит

$$Q_{\text{ТВ(час)}} = \frac{Q_{\text{ТВ}}}{t_{\text{час}}},$$

где $t_{\text{час}}$ – средняя продолжительность стока в сутках, ч.

Расчетный секундный $Q_{\text{ТВ(с)}}$ расход талых вод с ЗТ будет равен

$$Q_{\text{ТВ(с)}} = \frac{Q_{\text{ТВ(час)}}}{3600} \cdot 10^3, \text{ л/с.}$$

Максимальный расход талых вод в замыкающем створе водосбора ЗТ площадью менее 100 га, соответствующий максимальной часовой интенсивности снеготаяния весной, рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{МТВ}} = K_p \cdot A_{\text{max(час)}} \cdot \varphi_t \cdot F, \text{ л/с,}$$

где $K_p = 2,8$ – коэффициент размерности, принятый для часовой интенсивности снеготаяния и площади водосбора в га; $A_{\text{max(час)}}$ – максимальная среднемноголетняя часовая интенсивность снеготаяния, принимается по данным [9] для СЗ РФ равной 3–5 мм/ч.

Максимальный расход талых вод в замыкающем створе водосбора ЗТ площадью более 1 км² (100 га) определяется по редуцированной формуле [10] при $\mu \approx \delta \approx \delta_1 \approx \delta_2 \approx \delta_3 \approx 1$ и $h_b = H_c \cdot \varphi_t \cdot K$:

$$Q_{\text{МТВ}} = \frac{K_0 \cdot h_b \cdot F_{\text{км}}}{(F_{\text{км}} + b)^n}, \text{ м}^3/\text{с,}$$

где K_0 – параметр, характеризующий дружность половодья, принимаемый по данным рек-аналогов или приближенно по справочнику [6] для СЗ РФ в пределах 0,006–0,008; $F_{\text{км}}$ – площадь водосбора, км²; n, b – эмпирические параметры редукиции максимального стока талых вод в зависимости от площади водосбора; принимаются для равнинных рек СЗ РФ равными $n = 0,17$; $b = 1$ [6].

Расчетный объем стока талых вод в весенний период снеготаяния определяется по формуле

$$W_{\text{ТВ}} = Q_{\text{ТВ}} \cdot t_c, \text{ м}^3.$$

Объем стока талых вод в периоды зимних оттепелей приближенно равен

$$W_{\text{ТО}} = 10 \cdot (X_0 - H_c) \cdot \varphi_0 \cdot F \cdot K, \quad (2)$$

где X_0 – сумма осадков за зимний период, мм; принимается по данным [8, 11] или для СЗ РФ – по табл. 1; φ_0 – коэффициент стока талых вод в период оттепелей; принимается для

ЗТ ориентировочно 0,4–0,5. Так как в период оттепелей наблюдается инфильтрация талых вод, как правило, в слабопромерзшие или не промерзшие грунты открытых площадей ЗТ, коэффициент стока в эти периоды будет примерно на 40–60% меньше, чем при весеннем снеготаянии.

Суммарный объем стока талых вод в холодный период года складывается из объема стока талых вод при зимних оттепелях ($W_{\text{ТО}}$) и объема стока талых вод в весенний период снеготаяния ($W_{\text{ТВ}}$), т. е.

$$W_{\text{Т}} = W_{\text{ТО}} + W_{\text{ТВ}}, \text{ м}^3.$$

Вероятные значения характеристик стока талых вод с ЗТ следует определять в соответствии с указаниями [4, 10].

Расчетный расход **дождевых вод**, необходимый для расчетов параметров коллекторов ливневой канализационной сети, вычисляется в соответствии с указаниями СНиП 2.04.03-85 [7] (п. 2.11–2.19) при периоде однократного превышения расчетных осадков P (год), изменяющимся для СЗ РФ в пределах от 0,33 до 5.

Расчетный суточный расход дождевого стока с ЗТ, используемый для расчетов параметров очистных сооружений и предельно допустимых сбросов (ПДС) в водные объекты, определяется для теплого периода года по максимальным суточным осадкам с учетом их потерь на впитывание, аккумуляцию в понижениях и инфильтрацию в грунты [2, 3, 5]:

$$Q_g = 10 \cdot h \cdot F;$$

$$h = (H_p^{0,5} - H_0^{0,5})^2;$$

$$H_p = h_1 \left(1 + \frac{\lg p}{\lg m} \right)^{1/\beta},$$

где Q_g – суточный расход дождевых вод, м³/сут.; h – суточный слой дождевого стока, мм; H_p – суточный слой осадков при периоде однократного превышения P , мм; H_0 – суточный слой потерь осадков на ЗТ, мм; m – сред-

нее количество дождей за теплый период; β – климатический коэффициент; h_1 – суточный слой осадков при периоде однократного превышения $P = 1$ год, мм.

Величины h_1 и m принимаются на основании результатов статистических расчетов и анализа многолетних данных наблюдений за осадками по ближайшей метеостанции. Для приближенной оценки можно использовать данные [5] или табл. 2.

Период однократного превышения суточных осадков составляет $P = 0,05-0,1$ год [7].

Величина β в среднем изменяется в пределах 0,6–0,7. Большие значения следует принимать для районов СЗ РФ с большим количеством осадков в теплый период года.

Значения слоя потерь осадков H_0 , зависящих от характера использования ЗТ, водопроницаемости поверхности и грунтов, приведены в работе [5].

При различном характере использования ЗТ, водопроницаемости поверхности и грунтов величины H_0 и h определяются для основных типов ЗТ.

Результирующий расчетный расход дождевого стока, поступающего на очистку и в водный объект, вычисляется по формуле

$$Q_q = 10 \cdot (h_{p1} \cdot F_1 + h_{p2} \cdot F_2 + \dots + h_{pn} \cdot F_n),$$

где $h_{p1}, h_{p2}, \dots, h_{pn}$ – слои дождевого стока с основных типов площадей F_1, F_2, \dots, F_n , соответственно, мм.

Расчетный среднечасовой $Q_{q(\text{час})}$ и секундный $Q_{q(c)}$ расходы дождевых вод с ЗТ будут равны:

$$Q_{q(\text{час})} = \frac{Q_q}{24}, \text{ м}^3/\text{ч};$$

ТАБЛИЦА 2. Климатические характеристики теплового периода года в Северо-Западной зоне РФ

Пункт (метеостанция)	Сумма осадков в теплый период, мм	h_1 , мм	m	Даты теплового периода
Лоухи	295	21	90	24.04–18.10
Паданы	318	20	90	16.04–27.10
Пудож	366	25	91	10.04–27.10
Олонец	396	23	95	12.04–05.11
С.-Петербург	402	24	108	04.04–13.11
Тихвин	415	26	–	05.04–05.11
Николаевская	425	25	115	03.04–10.11
Веребье	492	26	110	02.04–04.11
Новгород	402	27	105	04.04–09.11
Боровичи	413	23	108	04.04–05.11
Валдай	470	26	112	06.04–04.11
Псков	419	31	102	02.04–14.11
Дно	424	27	104	01.04–12.11
Идрица	479	27	107	01.04–14.11

Примечание. Прочерк – нет данных.

$$Q_{q(c)} = \frac{Q_q}{86400} \cdot 10^3, \text{ л/с.}$$

Расчетный объем стока дождевых вод в теплый период года определяется в зависимости от суммы осадков за этот период и средневзвешенного коэффициента стока с ЗТ:

$$W_q = 10 \cdot X \cdot \varphi_q \cdot F, \quad (3)$$

где X – сумма осадков за теплый период года, мм; принимается по климатическому справочнику [11], СНиП 23-01-99 [8] или для СЗ РФ – по табл. 2; φ_q – коэффициент стока дождевых вод; определяется в виде средневзвешенной величины из частных значений для различных видов поверхности селитебной территории согласно данным [1, 5]. Для производственных территорий частные значения коэффициента стока можно приближенно принять равными:

- для водонепроницаемых покрытий – 0,6–0,8;
- для грунтовых покрытий – 0,2;
- для газонов – 0,1.

Вероятные значения расчетного объема стока дождевых вод с ЗТ определяются в соответствии с указаниями [4, 10].

При наличии данных об объемах стока сбросных вод, полученных на аналогичных объектах, коэффициенты талого и дождевого стока для конкретных условий ЗТ следует определять на основании обобщения результатов «обратных» расчетов, выполненных по формулам (1)–(3). Фактические объемы водоотведения по основным периодам стока берутся из первичных журналов, сводных таблиц и форм отчетности в специализированных службах «Водоканала», промышленных, транспортных и сельскохозяйственных предприятий, ведущих их учет при очистке и сбросе в водные объекты.

Расчетные расходы и объемы **поливомочных вод** определяются в соответствии с указаниями СНиП 2.04.03-85 [7].

Заключение

Разработаны способы расчета гидрологических характеристик систем водоотведения с застроенных территорий, в том числе с объектов железных и автомобильных дорог в Северо-Западной зоне РФ, основанные на действующих нормативно-методических документах с учетом климатических условий, рельефа, типа землепользования и грунтов и других факторов. Определены необходимые для расчетов климатические и гидрологические характеристики.

Библиографический список

1. Водогрецкий В. Е. Антропогенное изменение стока малых рек : моногр. / В. Е. Водогрецкий. – Л. : Гидрометеиздат, 1990. – 176 с.
2. Алексеев М. И. Методика расчета объемов поверхностного (дождевого, талого) и дренажного стока с территории Санкт-Петербурга и административно подчиненных городов / М. И. Алексеев, А. М. Курганов. – СПб., 1997.
3. Дикаревский В. С. Отведение и очистка поверхностных сточных вод / В. С. Дикаревский, А. М. Курганов, А. М. Нечаев, М. И. Алексеев. – Л. : Стройиздат. Ленингр. отд., 1990. – 224 с.
4. Пособие по определению основных расчетных гидрологических характеристик. – Л. : Гидрометеиздат, 1984. – 447 с.
5. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты / ФГУП «НИИ Водгео». – М., 2006. – 61 с.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 2, ч. 1, 2. – Л. : Гидрометеиздат, 1972.
7. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения.
8. СНиП 23-01-99. Строительная климатология.
9. Соколовский Д. Л. Речной сток / Д. Л. Соколовский. – Л. : Гидрометеиздат, 1968. – 527 с.
10. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик.

11. Справочник по климату СССР. Ч. 1. – Л. : Гидрометеoиздат, 1972.

References

1. Vodogretskiy V.Ye. Antropogennoye izmeneniye stoka malykh rek: monografiya [Man-made Changes to the Flow of Minor Rivers: A Monograph]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1990. 176 p.

2. Alekseyev M. I. & Kurganov A. M. Metodika rascheta obyemov poverkhnostnogo (dozhdevogo, talogo) i drenazhnogo stoka s territorii Sankt-Peterburga i administrativno podchinennykh gorodov [A Method for Calculation of Volume of Surface (Rainfall, Snowmelt) and Drainage Run-Off from the Territory of St Petersburg and Towns Administered by St Petersburg]. St. Petersburg, 1997.

3. Dikarevskiy V. S., Kurganov A. M., Nechaev A. M. & Alekseyev M. I. Otvedeniye i ochistka poverkhnostnykh stochnykh vod [Deflection and Processing of Surface Wastewater]. Leningrad, Stroyizdat, 1990. 224 p.

4. A Guide for Determination of Basic Calculated Hydrological Characteristics. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1984. 447 p.

5. Recommendations for Calculation of Systems for Collection, Deflection and Processing of Surface Wastewater from Habitable Territories, Production Grounds, and for Determination of Conditions for Releasing It into Water Objects. Moscow, FGUP NII Vodgeo, 2006. 61 p.

6. Resursy poverkhnostnykh vod SSSR [Resources of Surface Waters of the USSR]. Vol. 2, pts. 1–2. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1972.

7. SNiP 2.04.03-85. Sewage. Outside Networks and Facilities.

8. SNiP 23-01-99. Construction Climatology.

9. Sokolovsky D.L. Rechnoy stok [River Flow]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1968. 527 p.

10. SP 33-101-2003. Determination of Basic Calculable Hydrological Characteristics.

11. Spravochnik po klimatu SSSR [Reference Book for the USSR Climate]. Pt. 1. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1972.

КАНЦИБЕР Юрий Алексеевич – канд. техн. наук, ст. научный сотрудник, доцент, kanziber3@yandex.ru, *ПОНОМАРЕВ Андрей Борисович – канд. техн. наук, доцент, pol1nom@yandex.ru (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I).