

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ СИСТЕМ ОТВЕДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА

Игнатчик В. С., Игнатчик С. Ю., Кузнецова Н. В., Феськова А. Я.

IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON THE HYDRAULIC MODES OF OPERATION OF SURFACE RUNOFF DRAINAGE SYSTEMS

Ignatchik V. S., Ignatchik S. Y., Kuznetsova N. V., Fes'kova A. Y.

Аннотация

Введение. На основании постановления Правительства РФ № 782 «О схемах водоснабжения и водоотведения» прогноз объемов образующихся сточных вод должен выполняться на срок не менее 10 лет. Вместе с этим необходимо оценивать гидравлические режимы работы сетей и коллекторов, заложенные ранее. Однако в существующей нормативной литературе отсутствуют данные о динамике расчетных интенсивностей дождей и их перспективных значениях. Анализ предметной области показал, что определение климатических параметров местности, позволяющих установить значения характеристик расчетных дождей, возможно на основании данных многолетних наблюдений (от 20 лет) одним самопишущим дождемером либо сетью аналогичных дождемеров с продолжительностью наблюдений от 5 и более лет. Подобная сеть дождемеров имеется в Санкт-Петербурге, дающая возможность оценить фактические значения климатических параметров, но из-за недостатка статистических данных не позволяющая оценить динамику их изменения. Поэтому целью настоящей статьи является приблизительная оценка динамики изменения климатических параметров на примере Санкт-Петербурга и степени их влияния на гидравлические режимы сетей и коллекторов водоотведения поверхностного стока. **Методы.** В работе проведены: исследование динамики изменения суммарных годовых осадков H и сил дождя в Санкт-Петербурге; исследование влияния динамики изменения сил дождя на работу эксплуатируемых сетей и коллекторов отведения поверхностного стока. **Результаты.** На первом этапе исследований получены результаты линейной аппроксимации данных H , расчетные значения изменений сил дождя Δ , результаты линейной аппроксимации данных Δ . Результатами второго этапа исследования стали изменения гидравлических режимов поступления стока на период проектирования и через 50 лет. **Заключение.** Экспериментально обоснована возможность при $P = 0,33$ с приемлемой точностью определять динамику изменения силы дождя в зависимости от динамики изменения суммарных годовых осадков. Для сетей, запроектированных и проложенных 50 лет назад, фактическое изменение сил дождя составит 9 %. В результате изменения климата расходы воды в расчетные периоды увеличились примерно на 26 % при увеличении общего объема отводимой воды на 9–10 %.

Ключевые слова: изменение климата, гидравлический режим, система водоотведения, поверхностный сток, интенсивность дождя, сила дождя, расчетный дождь, суммарные годовые осадки.

Abstract

Introduction. Based on Resolution of the Government of the Russian Federation No. 782 “On water supply and wastewater disposal plans”, the volume of generated wastewater should be forecast for a period of at least 10 years. Along with this, it is also necessary to assess the hydraulic modes of operation of networks and collectors, specified earlier. However, the existing regulatory literature lacks data on the dynamics of calculated rain intensities and their prospective values. The analysis of the subject area showed that it is possible to determine the climatic parameters of an area, and thus establish the values for the characteristics of calculated rain, based on the data of long-term observations (from 20 years) with one self-recording rain gauge, or with a network of similar rain gauges, with a duration of observations of 5 years or more. A similar network of rain gauges is available in St. Petersburg. It makes it possible to assess the actual values of climatic parameters, but due to the lack of statistical data does not allow for assessing the dynamics of their changes. Therefore, the purpose of this article is to roughly estimate the dynamics of changes in climatic parameters in St. Petersburg and the degree of their impact on the hydraulic modes of operation of surface runoff drainage networks and collectors. **Methods.** In the course of the study, we analyzed the dynamics of changes in the total annual precipitation H and rain force in St. Petersburg and examined the influence of the dynamics of rain force changes on the operation of surface runoff drainage networks and collectors. **Results.** At the first stage of the study, we obtained the results of linear approximation of the H data, the calculated values of rain force changes Δ , and the results of linear approximation of the Δ data. The second stage of the study resulted in changes in the hydraulic modes of runoff input during the design period and in 50 years. **Conclusion.** We experimentally substantiated the possibility to determine the dynamics of rain force changes (at $P = 0.33$ and with acceptable accuracy) depending on the dynamics of changes in the total annual precipitation. For networks designed and laid 50 years ago, the actual rain force changes will be 9 %. As a result of climate change, water consumption in the calculation periods increased by about 26% with an increase in the total volume of discharged water by 9–10 %.

Keywords: Climate change, hydraulic mode, drainage system, surface runoff, rain intensity, rain force, calculated rain, total annual precipitation.

Введение

В Российской Федерации при разработке схем водоотведения поселений, городских округов и единой схемы водоснабжения и водоотведения Республики Крым в соответствии с требованиями Постановления Правительства № 782 «О схемах водоснабжения и водоотведения»¹ требуется выполнять прогноз объемов сточных вод на срок не менее 10 лет. На практике такие схемы разрабатываются на перспективу до 20 лет. При этом при разработке или корректировке схем водоотведения поверхностного стока для прогнозирования расчетных расходов в качестве исходных данных необходимо принимать динамику изменения площадей водосборных поверхностей, коэффициентов стока и расчетных интенсивностей дождей. Информация по площадям и их характеристикам содержится в генеральных планах и проектах планировки территорий. Однако данные о перспективных расчетных интенсивностях дождей в нормативной литературе отсутствуют. Кроме того, отличительной особенностью настоящего периода являются:

- устаревшие климатические параметры расчетных дождей, которые из СНиП 2.04.03–85 «Канализация. Наружные сети и сооружения»² практически без изменений перенесены во все последующие редакции сводов правил, включая действующие СП 32.13330.2018³. В результате разработки схем систем водоотведения поверхностного стока осуществляются не только не на перспективные параметры, а на параметры, полученные в прошлом веке;

- наличие в исторических городах России эксплуатируемых сетей водоотведения, запроектированных по разным нормативным документам, в которых были включены разные климатические параметры для определения интенсивностей расчетных дождей. Для примера на рис. 1 приведены результаты оценки распределения всех сетей водоотведения Санкт-Петербурга в зави-

симости от нормативной базы по их проектированию. На нем видно, что большая часть сетей водоотведения запроектирована по ТУиН 141–56⁴, СНиП II-Г.6–62⁵, СНиП II-32–74⁶, СНиП 2.04.03–85², СП 32.13330.2012⁷. Поэтому возникают вопросы о степени их гидравлической перегрузки в результате того, что продолжительность эксплуатации сетей некоторых районов водоотведения, к которым в первую очередь необходимо отнести районы исторической застройки, составляет до 50 лет, в течение которых фактические интенсивности дождей изменились;

- наличие в Санкт-Петербурге тоннельных коллекторов большой протяженности, запроектированных по СНиП 2.04.03–85², к расчетной производительности которых применен понижающий коэффициент, учитывающий неравномерность распределения осадков по площадям водосбора. В течение продолжительной эксплуатации гидравлическая нагрузка на них увеличилась, но ее количественное значение оценить невозможно из-за отсутствия информации о динамике изменения расчетных дождей. Поэтому не представляется возможным обосновать мероприятия по их развитию и реконструкции.

В соответствии с терминологией СП 32.13330.2018³ количественные значения характеристик расчетных дождей определяются в зависимости от значений:

- одного аргумента — времени добегания воды до расчетного участка;

- четырех климатических параметров местности q_{20} , m_r , n , y , где q_{20} — интенсивность дождя для данной местности продолжительностью 20 мин при периоде однократного превышения расчетной интенсивности дождя $P = 1$; m_r — среднее количество дождей за год; n , y — эмпирические коэффициенты.

⁴ Государственный комитет Совета Министров СССР по делам строительства (1956). *Нормы и технические условия проектирования канализации населенных мест. НиТУ 141–56*. М.: Госстройиздат, 111 с.

⁵ Государственный комитет Совета Министров СССР по делам строительства (1962). *СНиП II-Г.6–62. Канализация. Нормы проектирования*. М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 79 с.

⁶ Государственный комитет Совета Министров СССР по делам строительства (1974). *СНиП II-32–74. Канализация. Наружные сети и сооружения*. М.: Стройиздат, 95 с.

⁷ Министерство регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) (2011). *СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03–85 (с Изменениями № 1, 2)*. М., 91 с.

¹ Правительство Российской Федерации (2013). *Постановление от 5 сентября 2013 года № 782 «О схемах водоснабжения и водоотведения» (с изменениями на 22 мая 2020 года)*. М., 25 с.

² Государственный комитет СССР по делам строительства (1986). *СНиП 2.04.03–85. Канализация. Наружные сети и сооружения*. М.: ФГУ ЦПП, 87 с.

³ Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (2018). *СП 32.13330.2018. Канализация. Наружные сети и сооружения*. М.: ФГУП Стандартинформ, 75 с.

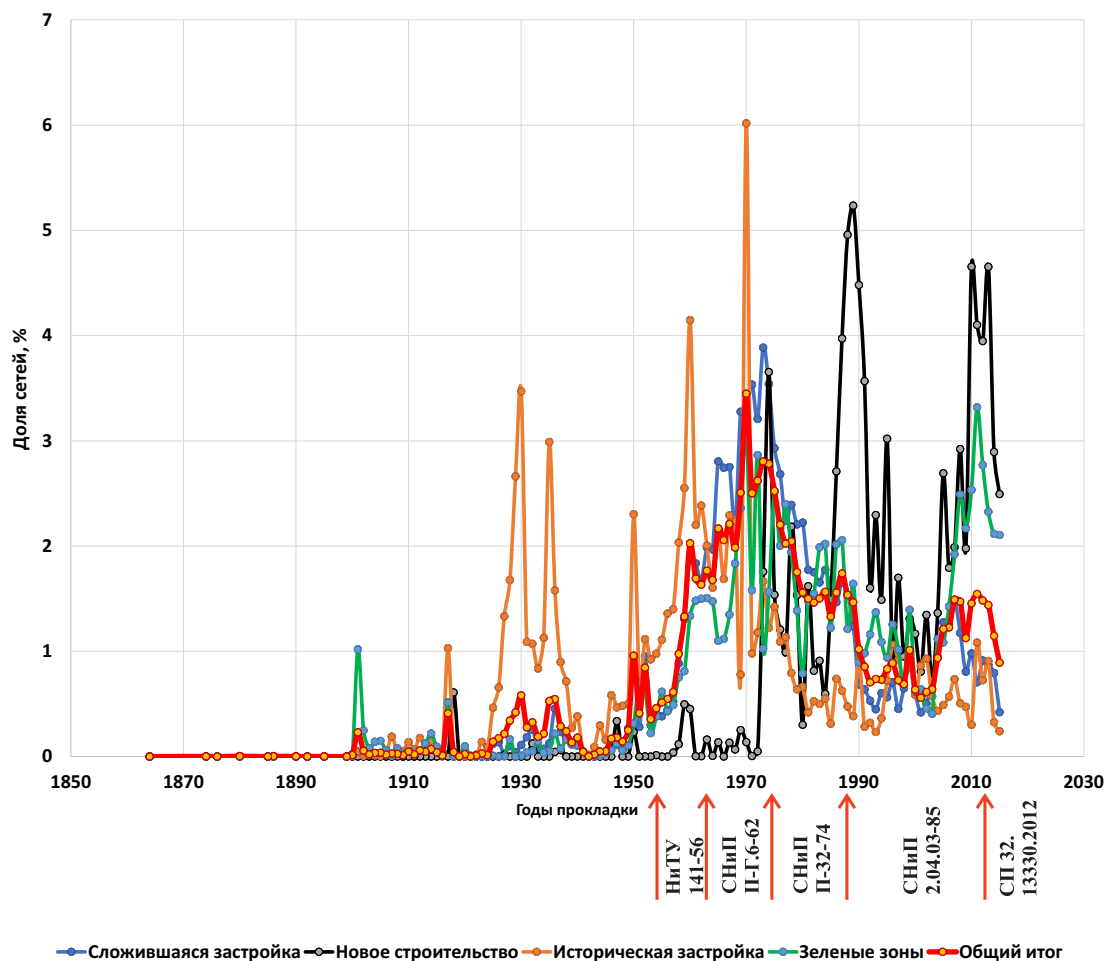


Рис. 1. Результаты исследования распределения сетей водоотведения Санкт-Петербурга в зависимости от нормативной базы по их проектированию

Результаты анализа предметной области [1, 2, 4, 5, 8–10, 12, 14–16] показали, что определение климатических параметров местности при установке одного самопишущего дождемера рекомендуется осуществлять по результатам многолетних наблюдений (от 20 лет), а при наличии сети аналогичных дождемеров [3] эту продолжительность возможно сократить до 5 лет.

Однако в большинстве городов и населенных мест России самопишущие дождемеры отсутствуют или установлены недавно без наличия достаточной статистики, а сеть дождемеров имеется только в Санкт-Петербурге [3, 7]. По ней можно оценить фактические значения климатических параметров, но для выявления динамики их изменения объем статистических данных не достаточен. Поэтому целью настоящей статьи является приблизительная оценка динамики из-

менения климатических параметров на примере Санкт-Петербурга в условиях отсутствия значений q_{20} , m_r , n , u и степени их влияния на гидравлические режимы сетей и коллекторов водоотведения поверхностного стока.

Методы и материалы

В качестве базы для проведения исследований приняты:

- основы гидравлики;
- гидравлическая динамическая модель представительной системы водоотведения поверхностного стока [11];
- данные о динамике изменения суммарных годовых осадков H в Санкт-Петербурге с 1986 по 2019 г. [13].

Замыслом исследований предусматривалось:

- выполнить оценку динамики изменения параметров расчетных дождей, оценив динамику

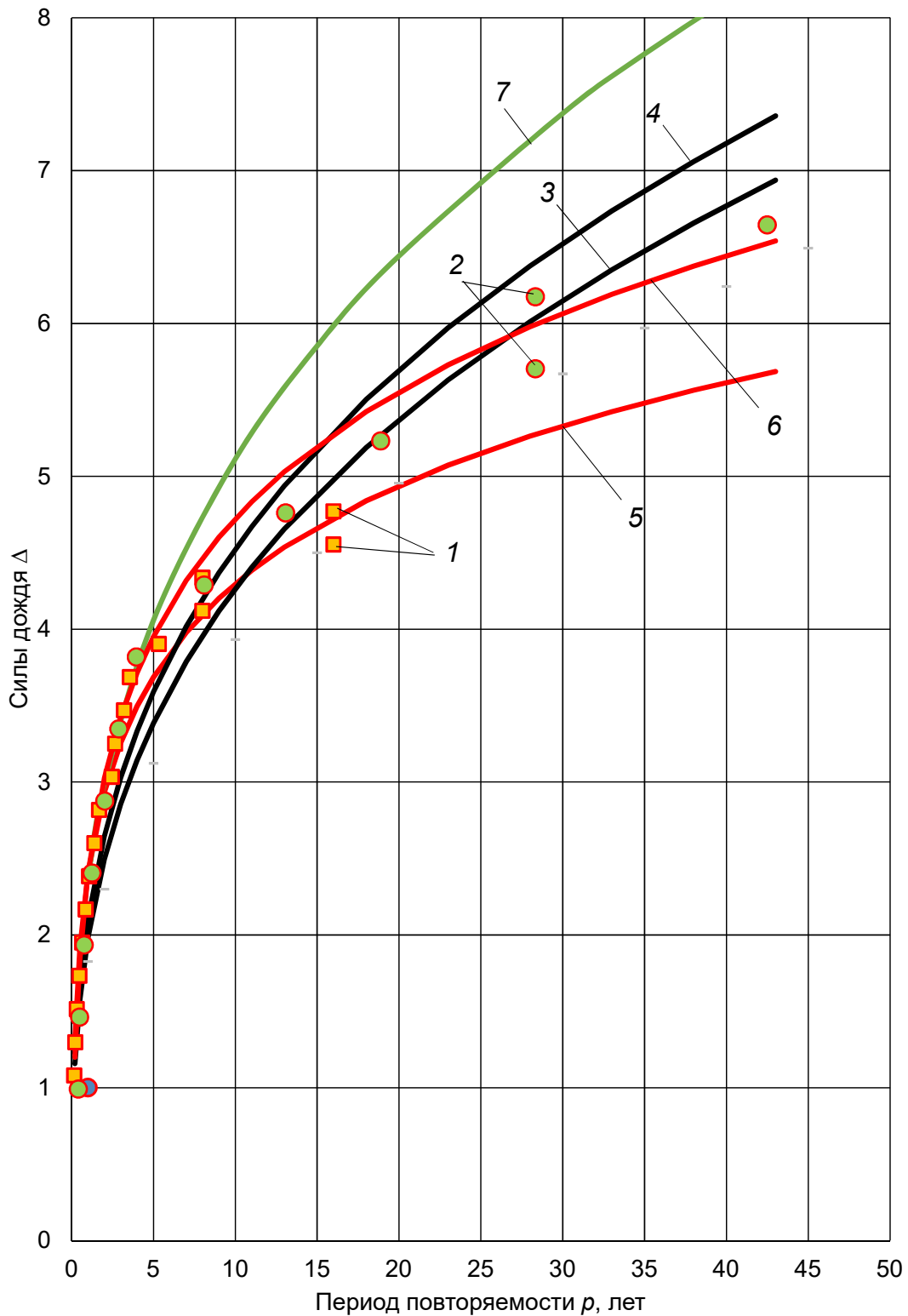


Рис. 2. Результаты сравнения различных методов оценки климатических зависимостей и их параметров: 1 — Н. Н. Белова в одной точке за период с 1897 по 1928 год; 2 — усредненные данные Росгидромета в 34 точках за период с 2015 по 2020 год; 3 — результаты аппроксимации данных Н. Н. Белова; 4 — то же, данных Росгидромета; 5 — результаты аппроксимации данных Н. Н. Белова по логарифмической зависимости; 6 — то же, данных Росгидромета; 7 — по формуле проф. П. Ф. Горбачева в зависимости от суммарных годовых осадков

изменения комплексного параметра Δ — силы дождя, учитывающего не только изменение климатических параметров местности q_{20} , m_p , n , y , но и продолжительности выпадения дождей;

- принять в качестве исходной информации данные об H . Такой подход [4, 9] не раз обоснованно подвергался критике со стороны классиков [6], которые считали «принципиально неверную саму постановку вопроса о возможности связать климатические особенности местности только с количеством осадков», так как «многочисленные данные подтверждают, что некоторые города, расположенные в разных районах СССР, имеют почти одинаковое годовое количество осадков, в то же время как во всех прочих отношениях они не имеют между собой ничего общего». Поэтому для оценки достоверности определения силы дождя от суммарных годовых осадков на этапе разработки программы-методики исследований проведена дополнительная оценка ранее полученных закономерностей [3] в зависимости от этого параметра. Результаты представлены на рис. 2, на котором видно (кривая 7), что «связать климатические особенности местности только с количеством осадков» в широком диапазоне периодов однократного превышения расчетной ин-

тенсивности дождя P действительно невозможно. В то же время при $P = 0,33$ такая оценка позволяет получить приемлемую точность. По этой причине границей применения результатов настоящих исследований является это значение P . Учитывая, что системы водоотведения центра Санкт-Петербурга и отводящие поверхностные стоки запроектированы при таких значениях периода однократного превышения расчетной интенсивности дождя в процессе исследований, применена настоящая программа-методика.

Результаты исследования и обсуждение

1. Исследование динамики H и сил дождя в Санкт-Петербурге

В качестве исходных данных для исследования динамики H использована информация ФБГУ «Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова» и Росгидромета [7, 11, 13] (рис. 3). С учетом этих данных определены силы дождей [1, 3, 4, 8–10, 12]. Их анализ показывает, что рост сил дождя Δ составляет примерно 0,18 % в год. Поэтому для сетей, запроектированных и проложенных 50 лет назад, фактическое изменение сил дождя составит 9 %.

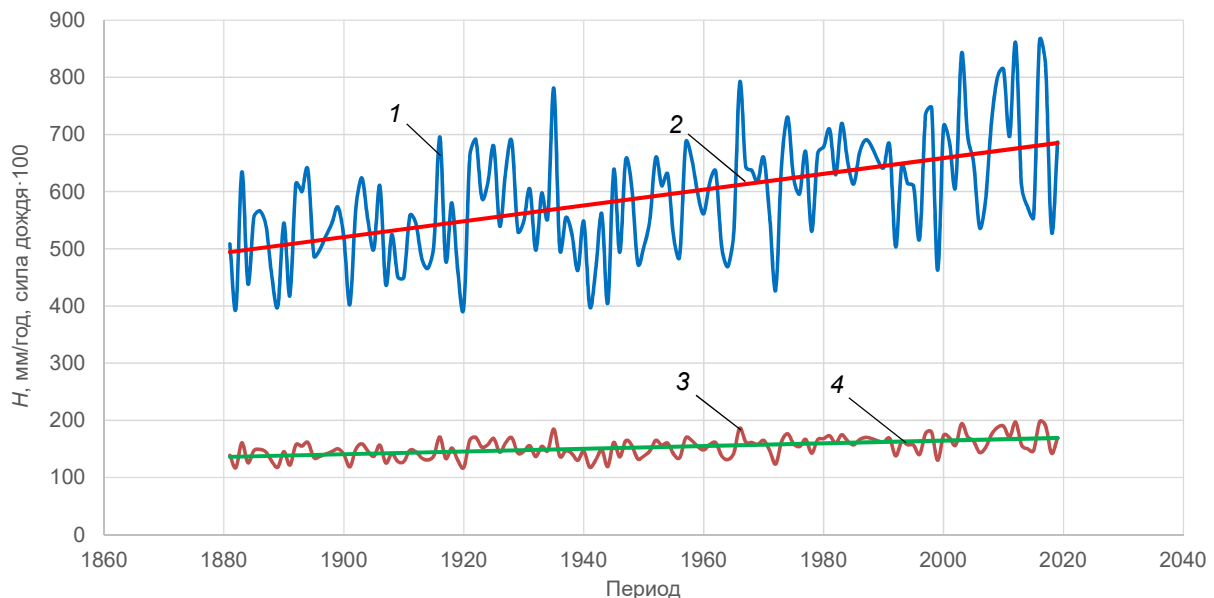


Рис. 3. Динамика изменения суммарных H и Δ в Санкт-Петербурге с 1886 по 2019 г.: 1 — данные ФБГУ «Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова» и Росгидромета по изменению годовых осадков; 2 — результаты линейной аппроксимации данных H ; 3 — расчетные значения изменений Δ ; 4 — результаты линейной аппроксимации данных Δ

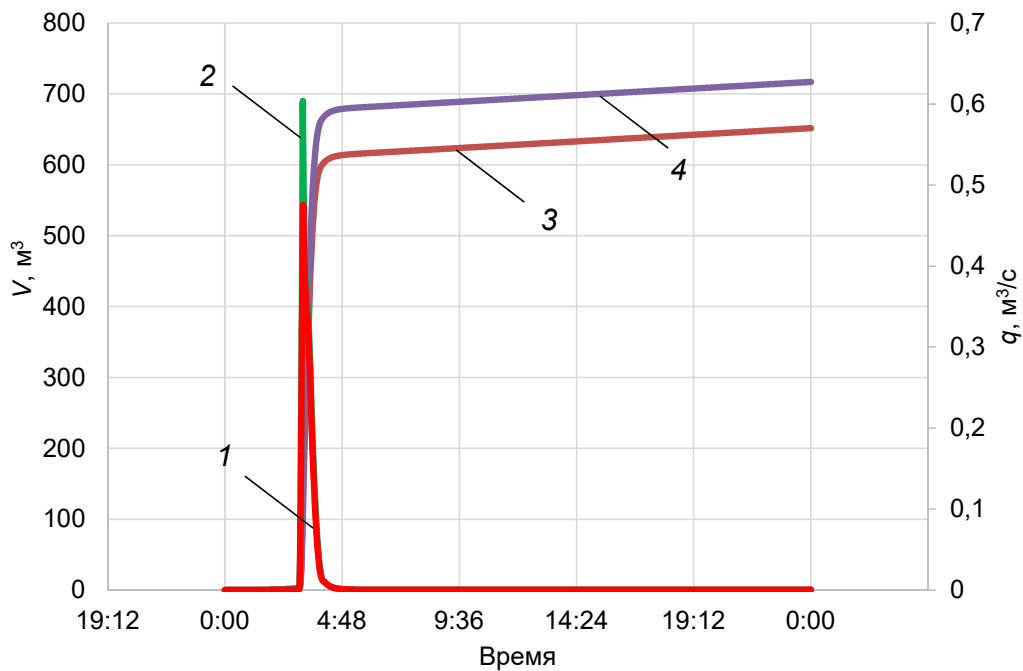


Рис. 4. Результаты изменения гидравлических режимов поступления стока: 1 — расход стока на период проектирования в результате выпадения расчетного дождя; 2 — то же фактического расчетного, через 50 лет; 3 — объем стока при выпадении расчетного дождя на период проектирования; 4 — то же, через 50 лет

2. Исследование влияния динамики *H* на работу эксплуатируемых сетей и коллекторов отведения поверхностного стока

Результаты исследований выполнены с применением верифицированной гидравлической динамической модели представительной системы водоотведения поверхностного стока [11], разработанной на программном комплексе Mike Urban. В качестве исходных данных применены:

- параметры расчетного дождя на момент проектирования в виде изменения во времени интенсивности его выпадения;
- параметры фактического расчетного дождя через 50 лет с момента проектирования, полученные на предыдущем этапе.

Результаты моделирования приведены на рис. 4. Их анализ показывает, что в результате изменения климата расходы воды в расчетные периоды увеличились примерно на 26 % при увеличении общего объема отводимой воды на 9–10 %.

Заключение

1. При разработке схем водоотведения населенных пунктов в соответствии с требованиями Постановления Правительства № 782 «О схемах водоснабжения и водоотведения»¹ требуется вы-

полнять прогноз объемов сточных вод на срок не менее 10 лет и оценивать гидравлические режимы работы сетей и коллекторов, проложенных ранее. При этом данные о динамике расчетных интенсивностей дождей и перспективных их значениях в нормативной литературе отсутствуют.

2. Результаты анализа предметной области показали, что определение климатических параметров местности известными методами с применением самопишущих дождемеров неприемлемы для решения этой задачи из-за необходимости многолетних наблюдений (от 20 лет) или наблюдений продолжительностью 5 лет при наличии сети осадкомеров.

3. Экспериментально обоснована возможность при $P = 0,33$ с приемлемой точностью определять динамику изменения силы дождя в зависимости от динамики изменения суммарных годовых осадков.

4. Установлено, что для сетей, запроектированных и проложенных 50 лет назад, фактическое изменение сил дождя составит 9 %.

5. Установлено, что в результате изменения климата расходы воды в расчетные периоды уве-

личились примерно на 26 % при увеличении общего объема отводимой воды на 9–10 %.

Литература

1. Алексеев, М. И. и Курганов, А. М. (2000). Организация отведения поверхностного (дождевого и талого) стока с урбанизированных территорий: учебное пособие. М.: Издательство АСВ; СПб.: СПбГАСУ, 352 с.
2. Белов, Н. Н. (1931). Расчет дождевой канализационной сети. М.: Издательство Наркомвнудела, 64 с.
3. Волков, С. Н., Житенев, А. И., Курганов, Ю. А., Костенко, И. Г., Игнатчик, В. С., Игнатчик, С. Ю., Кузнецова, Н. В. и Сеньюкович, М. А. (2020). Обоснование метода оценки климатических параметров ливневых дождей по данным комплекса осадкомеров (в порядке обсуждения). Водоснабжение и санитарная техника, № 7, сс. 50–56. DOI: 10.35776/MNP.2020.07.08.
4. Горбачев, П. Ф. (1937). Методы расчета ливневого стока. М.: Издательство «Власть Советов» при Президиуме ВЦИК, 167 с.
5. Давидянц, Н. М., Карагодин, В. Л. и Карагодин, А. Л. (1961). Городские водостоки: Проектирование и строительство. М.: Издательство Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 183 с.
6. Зак, Г. Л. (1952). Водостоки: основы рационального проектирования и расчета. 2-е издание. М.: Издательство Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 208 с.
7. Костенко, И. Г., Синкевич, Т. А. и Михайлов, Д. М. (2019). Опыт внедрения автоматизированной информационной системы учета атмосферных осадков в Санкт-Петербурге. НТД Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения, № 6, сс. 42–49.
8. Курганов, А. М. (1980). Закономерности формирования и движения дождевых стоков в безнапорных трубопроводах. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Л.: Ленинградский инженерно-строительный институт.
9. Молоков, М. В. и Шигорин, Г. Г. (1954). Дождевая и общесплавная канализация. М.: Издательство Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 332 с.
10. Надьсев, В. С. (1949). Расчет дождевой и общесплавной канализации по методу «критических приливных площадей». Л.: Типография № 2 Управления издательств и полиграфии Ленгорисполкома, 95 с.
11. ООО «АВиВ» (2020). Гидравлическое моделирование для определения чувствительности систем водоотведения к условиям текущего изменения климата. Отчет по этапу № 3 по теме «Разработка рекомендаций по адаптации систем водоотведения Санкт-Петербурга к условиям изменяющегося климата и уровню благоустройства городской среды». Санкт-Петербург. Кузнецова Н.В., 87 с.
12. Сурин, А. А. (1930). Учет емкости сети при расчете дождевой канализации. Коммунальное дело, № 5, сс. 67–78.
13. ФГБУ «ГГО» (2016). Аналитический обзор воздействия текущих климатических условий Санкт-Петербурга на состояние водных объектов и ресурсов и устойчивое функционирование систем водоотведения в рамках разработки Концепции адаптивного управления водными ресурсами и системами водоотведения Санкт-Петербурга для подготовки международной проектной заявки. Отчет по договору 24/22/578-16-3800016000465 от 12.12.2016. Санкт-Петербург, 46 с.
14. Шигорин, Г. Г. (1960). Общесплавная система канализации: Расчет и проектирование. М.: Издательство Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 208 с.
15. Bumke, K., Clemens, M., Graßl, H., Pang, S., Peters, G., Seltmann, J. E. E., Siebenborn, T. and Wagner, A. (2006). *More accurate areal precipitation over land and sea – APOLAS Abschlussbericht*. Hamburg: Max-Planck-Institut für Meteorologie, 62 p.
16. Von Storch, H. and Claußen, M. (2009). *Klimabericht für die Metropolregion Hamburg*. Hamburg: Universität Hamburg KlimaCampus, 410 p.

References

1. Alekseyev, M. I. and Kurganov, A. M. (2000). *Organization of surface (rain and snowmelt) runoff removal from urbanized areas: study guide*. Moscow: ASV Publishing House; Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 352 p.
2. Belov, N. N. (1931). *Stormwater drainage network analysis*. Moscow: Publishing House of the People's Commissar for Internal Affairs, 64 p.
3. Volkov, S. N., Zhitenev, A. I., Kurganov, Iu. A., Kostenko, I. G., Ignatchik, V. S., Ignatchik, S. Iu., Kuznetsova, N. V. and Senyukovich, M. A. (2020). Substantiation of the method for estimating the storm rain climatic parameters based on rain gauge data (discussion). *Water Supply and Sanitary Technique*, No. 7, pp. 50–56. DOI: 10.35776/MNP.2020.07.08.
4. Gorbachyov, P. F. (1937). *Storm runoff analysis methods*. Moscow: Publishing House "Power of the Soviets" under the Presidium of the All-Russian Central Executive Committee, 167 p.
5. Davidyants, N. M., Karagodin, V. L. and Karagodin, A. L. (1961). *City gutters: (Design and construction)*. Moscow: Publishing House of the Ministry of Communal Services of the RSFSR, 183 p.
6. Zak, G. L. (1952). *Drains: basics of rational design and calculation*. 2nd edition. Moscow: Publishing House of the Ministry of Communal Services of the RSFSR, 208 p.
7. Kostenko, I. G., Sinkevich, T. A. and Mikhaylov, D. M. (2019). Experience in implementing an automated information system to account for atmospheric precipitation in St. Petersburg. *NTD Nailuchshie dostupnye tekhnologii vodosnabzheniya i vodootvedeniya*, No. 6, pp. 42–49.
8. Kurganov, A. M. (1980). *Regularities of the formation and movement of rainwater runoff in gravity pipelines*. DSc Thesis in Engineering. Leningrad: Leningrad Civil Engineering Institute.
9. Molokov, M. V. and Shigorin, G. G. (1954). *Stormwater drainage and combined sewer*. Moscow: Publishing House of the Ministry of Communal Services of the RSFSR, 332 p.
10. Nadysev, V. S. (1949). *Analysis of stormwater drainage and combined sewer using the method of "critical tidal areas"*. Leningrad: Printing House No. 2 of the Publishing and Printing Office of the Leningrad City Executive Committee, 95 p.
11. AViV ООО. (2020). Hydraulic modeling to determine the sensitivity of wastewater disposal systems to the current climate changes. Report on stage No. 3 on the topic "Development of

recommendations for adapting wastewater disposal systems in St. Petersburg to the changing climate and the level of urban environment improvement. Saint Petersburg, 87 p.

12. Surin, A. A. (1930). Consideration of network capacity when analyzing stormwater drainage. *Kommunalnoye Delo*, No. 5, pp. 67–78.

13. Federal State Budgetary Institution “Voeikov Main Geophysical Observatory”. (2016). An analytical review of the impact of the current climatic conditions in St. Petersburg on the state of water bodies and resources and the sustainable functioning of wastewater disposal systems as part of the development of the Concept for adaptive management of water resources and wastewater disposal systems in St. Petersburg for the preparation of an international project application. Report under contract 24/22/578-16-3800016000465 dated December 12, 2016. Saint Petersburg, 46 p.

14. Shigorin, G. G. (1960). *Combined sewer: (Analysis and design)*. Moscow: Publishing House of the Ministry of Communal Services of the RSFSR, 208 p.

15. Bumke, K., Clemens, M., Graßl, H., Pang, S., Peters, G., Seltmann, J. E. E., Siebenborn, T. and Wagner, A. (2006). *More accurate areal precipitation over land and sea – APOLAS Abschlussbericht*. Hamburg: Max-Planck-Institut für Meteorologie, 62 p.

16. Von Storch, H. and Claußen, M. (2009). *Klimabericht für die Metropolregion Hamburg*. Hamburg: Universität Hamburg KlimaCampus, 410 p.

Авторы

Игнатчик Виктор Сергеевич, д-р техн. наук, профессор
Военная академия материально-технического обеспечения
им. генерала армии А. В. Хрулева, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: ign73@yandex.ru

Игнатчик Светлана Юрьевна, д-р техн. наук, профессор
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-
строительный университет, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: Ignatchik_CY@yandex.ru

Кузнецова Наталья Викторовна, канд. техн. наук
ООО «АВиВ», Санкт-Петербург, Россия
E-mail: natyakovnetsova.aviv@yandex.ru

Феськова Алина Яновна, аспирант
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-
строительный университет, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: alinafesikova@gmail.com

Authors

Ignatchik Victor Sergeevich, Dr. in Engineering, Professor
Military Academy of Material and Technical Support named
after General of the Army A. V. Khrulev, St. Petersburg, Russia
E-mail: ign73@yandex.ru

Ignatchik Svetlana Yurievna, Dr. in Engineering, Professor
Saint Petersburg State University of Architecture and Civil
Engineering, St. Petersburg, Russia
E-mail: Ignatchik_CY@yandex.ru

Kuznetsova Natalya Victorovna, PhD in in Engineering
Ltd. AW&W, St. Petersburg, Russia
E-mail: natyakovnetsova.aviv@yandex.ru

Fes'kova Alina Yanovna, post-graduate student
Saint Petersburg State University of Architecture and Civil
Engineering, St. Petersburg, Russia
E-mail: alinafesikova@gmail.com