

УДК 628.3

В. Г. Иванов, А. А. Калачко**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОЖДЕЙ МАЛОЙ
ИНТЕНСИВНОСТИ ДЛЯ РАСЧЕТА ЛИВНЕВОЙ КАНАЛИЗАЦИИ**

Дата поступления: 06.07.2015

Решение о публикации: 08.09.2015

Цель: Получить надежные и доступные для проектных организаций значения интенсивности малых дождей на территории РФ, используемых при расчете систем ливневой канализации без сложной и трудоемкой обработки многолетних данных метеостанции и обоснованного определения объемов дождевого стока, направляемого на очистку. **Методы:** Используются методы экстраполяционной аппроксимации имеющихся данных по дождям средней и большой интенсивности в диапазоне изменения периода однократного превышения расчетной интенсивности дождя 0,5–5 лет и математического моделирования процесса выпадения дождей с графической интерпретацией полученных результатов в виде карт изолиний. **Результаты:** Впервые составлены аппроксимирующие зависимости по расчетным дождям малой интенсивности более чем для 70 городов РФ. На основании анализа имеющихся данных из пяти возможных трендов, предлагаемых системой Microsoft Excel, выбраны наиболее точно описывающие характер распределения экстраполируемых значений интенсивности средних дождей, степенная и полиномиальная линии тренда. Выполнены расчеты и проведена оценка достоверности аппроксимации. Отклонения не превышают 1 %. Рассчитаны осредненные значения интенсивности малых дождей при $p = 0,05$ и 0,1 года, рекомендуемых строительными правилами для определения объемов дождевого стока, направляемого на очистку. По расчетным данным составлены карты изолиний для Европейской части территории РФ. **Практическая значимость:** Уточняются объемы дождевого стока, направляемого на очистку, с учетом географического положения объекта проектирования. Анализ полученных результатов показывает, что для территории Европейской части РФ интенсивность расчетных дождей составляет от 2,5 до 31 мм в зависимости от местоположения объекта, а в сложившейся практике принимается произвольно в диапазоне 5–10 мм, что приводит к значительным погрешностям. Составленные карты изолиний позволяют с минимальными затратами времени и средств получить надежные данные по интенсивности расчетных дождей и обоснованно определить расчетные расходы и объемы дождевого стока при проектировании ливневой канализации населенных мест, промышленных предприятий и транспорта без обработки данных метеостанций. Более точное определение объема дождевого стока, подлежащего очистке, дает истинную картину соотношения производственных и ливневых стоков предприятий, что может существенно повлиять на выбор метода и схемы очистки сточных вод, а также позволит более рационально использовать имеющиеся финансовые ресурсы, обеспечивая гарантированное выполнение экологических требований.

Расчетная интенсивность дождя, объем дождевого стока, математическая экстраполяционная модель, карты изолиний.

***Victor G. Ivanov**, D. Eng., professor, department chairman; **Anastasiya A. Kalachko**, graduate (Petersburg State Transport University) MATHEMATICAL SIMULATION OF LOW-INTENSITY RAINS FOR DRAIN SYSTEM CALCULATION

Objective: To obtain reliable and accessible for design organisations values of intensity of lesser rains in the territory of the Russian Federation, which can be used to calculate the drain systems without complicated and labour-intensive processing of many years of weather station data, and proved determination of volumes of stormwater drainage that is forwarded for sewage treatment. **Methods:**

Extrapolational approximation method is used for the existing data on mid- and higher-intensity rains in variation range of period of non-recurrent exceeding of predicted rain intensity of between six months and five years, as is mathematical simulation of process of rainfall with graphical interpretation of obtained results as isoline maps. **Results:** Approximating dependencies for predicted low-intensity rain rates were compiled for the first time for over 70 cities in the Russian Federation. After analysis of available data, out of five possible trends proposed by Microsoft Excel system the ones that describe distribution character of extrapolated values of mid-intensity rain most precisely are chosen, as well as power and polynomial lines of trend. Calculations are conducted, and approximation dependability is evaluated. Deviations do not exceed 1 per cent. Averaged values of intensity of lesser rains at $p = 0.05$ and 0.1 of year, recommended by construction rules for estimation of volumes of stormwater drainage that is forwarded for sewage treatment, are calculated. Calculation data is used to compile isoline maps for European part of Russian Federation's territory. **Practical importance:** Volumes of stormwater drainage that is forwarded for sewage treatment are estimated more precisely depending on geographical location of a design object. Analysis of obtained results shows that intensity of predicted rains in the territory of European part of the Russian Federation is between 2.5 and 31 mm depending on the location, whereas in common practice it is set randomly at between 5 and 10 mm, which leads to significant errors. Compiled isoline maps allow to obtain reliable data on intensity of predicted rains with minimum time and monetary expenditure, and to reasonably estimate design consumption and volumes of stormwater drainage in designing drain systems in populated locations, factories and transport without processing weather stations' data. More precise estimation of the volume of stormwater drainage that is to be sewage treated provides a true picture of balance between enterprises' industrial and stormwater drainage, which can have significant influence on the choice of a method and a scheme for sewage treatment, and allow to use available financial resources more rationally, permitting guaranteed fulfillment of environmental demands.

Predicted rain intensity, rainfall volume, mathematical extrapolational simulation, isoline maps.

Одна из важнейших экологических задач для предприятий железнодорожного транспорта – очистка загрязненного поверхностного стока (дождевого, талого и поливомоечного) с их территории. Его объемы в несколько раз превышают объемы производственных сточных вод. Запланированное повышение экологических платежей за сброс в окружающую среду неочищенных или недостаточно очищенных поверхностных стоков и связанная с этим необходимость строительства новых или реконструкции существующих очистных сооружений требуют особого внимания к обоснованному определению расчетных расходов дождевого стока, направляемого на очистку.

отводиться наиболее загрязненная часть поверхностного стока, которая образуется в периоды выпадения дождей, таяния снега и от мойки дорожных покрытий, в количестве не менее 70% годового объема стока. Для территории Российской Федерации это условие выполняется при расчете очистных сооружений на прием стока от малоинтенсивных, часто повторяющихся дождей с периодом однократного превышения расчетной интенсивности дождя $p = 0,05-0,1$ года [3].

Объем дождевого стока от расчетного дождя $W_{\text{оч}}, \text{ м}^3$, отводимого на очистные сооружения с селитебных территорий и площадок предприятий, определяется по формуле

$$W_{\text{оч}} = 10 h_a \varphi_{\text{mid}} F, \quad (1)$$

Математическая модель и результаты расчета

В соответствии с нормативными требованиями [2] на очистные сооружения должна

где F – площадь стока, га; h_a – максимальный слой осадков за дождь, сток от которого подвергается очистке в полном объеме, мм; φ_{mid} –

средний коэффициент стока для расчетного дождя [2].

При проектировании очистных сооружений необходимо знать величину h_a при $p = 0,05$ – $0,1$ года. Однако для часто повторяющихся дождей малой интенсивности ($p \leq 0,1$) такие сведения, как правило, отсутствуют, поэтому при проектировании допускается принимать h_a в диапазоне 5–10 мм без привязки этих данных к конкретной расчетной интенсивности дождя p и местоположению объекта канализирования, что вносит значительные погрешности и неопределенность в расчетах мощности проектируемых очистных сооружений в сторону как завышения, так и занижения.

Для решения поставленной задачи (получение расчетных значений h_a при $p = 0,05$ и $p = 0,1$) предложены метод экстраполяции и соответствующая методика, получены аппроксимирующие зависимости. Использованы имеющиеся для территории РФ данные по дождям при $p \geq 0,2$ [1]. Установлено, что наиболее точно имеющиеся данные аппроксимируются степенной зависимостью и полиномом третьей степени:

$$y = ax^b, \quad (2)$$

$$y = c_0 + c_1 x + c_2 x^2 + c_3 x^3, \quad (3)$$

где x – период однократного превышения расчетной интенсивности дождя p , год; y – количество суточных осадков, $h_a = H_{\text{сут}}$, мм; a , b – коэффициенты, являющиеся константами, определяющимися в ходе построения зависимости по формуле (2); c_0 , c_1 , c_2 , c_3 – коэффициенты, являющиеся константами, значения которых определяются в ходе построения зависимости по формуле (3).

Для 71 точки территории РФ по уравнениям (2) и (3) получены аппроксимирующие зависимости и методом экстраполяции определены значения $y = H_{\text{сут}}$ для дождей с периодом однократного превышения $p = 0,05$ и $p = 0,1$. Погрешность аппроксимации не превышает 1%.

На основании полученных значений по осредненным данным составлены карты изолиний расчетных величин $h_a = H_{\text{сут}}$ для $p = 0,05$ и $p = 0,1$ для территории РФ (рис. 1–6).

Карты изолиний для территории РФ

Из рис. 1 видно, что изолинии проведены с интервалом 1 мм. Наименьшее значение величины суточных осадков для европейской части России при $p = 0,1$ находится в г. Оренбурге (7,1 мм), наибольшее – в г. Йошкар-Оле (16,7 мм).

Из рис. 2 видно, что изолинии проведены с интервалом 1 мм. Наименьшее значение величины суточных осадков для европейской части России при $p = 0,05$ находится в г. Оренбурге (5,7 мм), наибольшее – в г. Йошкар-Оле (15,5 мм).

Из рис. 3 видно, что изолинии проведены с интервалом 2 мм. Наименьшее значение величины суточных осадков для Северного Кавказа и приближенных к нему территорий при $p = 0,1$ находится в г. Астрахани (3,7 мм), наибольшее – в г. Сочи (31,1 мм).

Из рис. 4 видно, что изолинии проведены с интервалом 2 мм. Наименьшее значение величины суточных осадков для Северного Кавказа и приближенных к нему территорий при $p = 0,05$ находится в г. Астрахани (2,5 мм), наибольшее – в г. Кисловодске (27,8 мм).

Из рис. 5 видно, что изолинии проведены с интервалом 1 мм. Наименьшее значение величины суточных осадков для территории Крыма при $p = 0,1$ находится в г. Алуште (6,5 мм), наибольшее – в г. Джанкое (14,5 мм).

Из рис. 6 видно, что изолинии проведены с интервалом 1 мм. Наименьшее значение величины суточных осадков для территории Крыма при $p = 0,05$ находится в г. Алуште (4,7 мм), наибольшее – в городе Джанкое (12,4 мм).

Необходимо отметить, что в целом величина суточного слоя осадков для $p = 0,05$ – $0,1$ года находится в пределах 2,5–31,1 мм для различных регионов европейской части России, Северного Кавказа и Крыма. Из это-

Рис. 1. Карта изолиний Европейской части России для $p = 0,1$



Рис. 2. Карта изолиний Европейской части России для $p = 0,05$

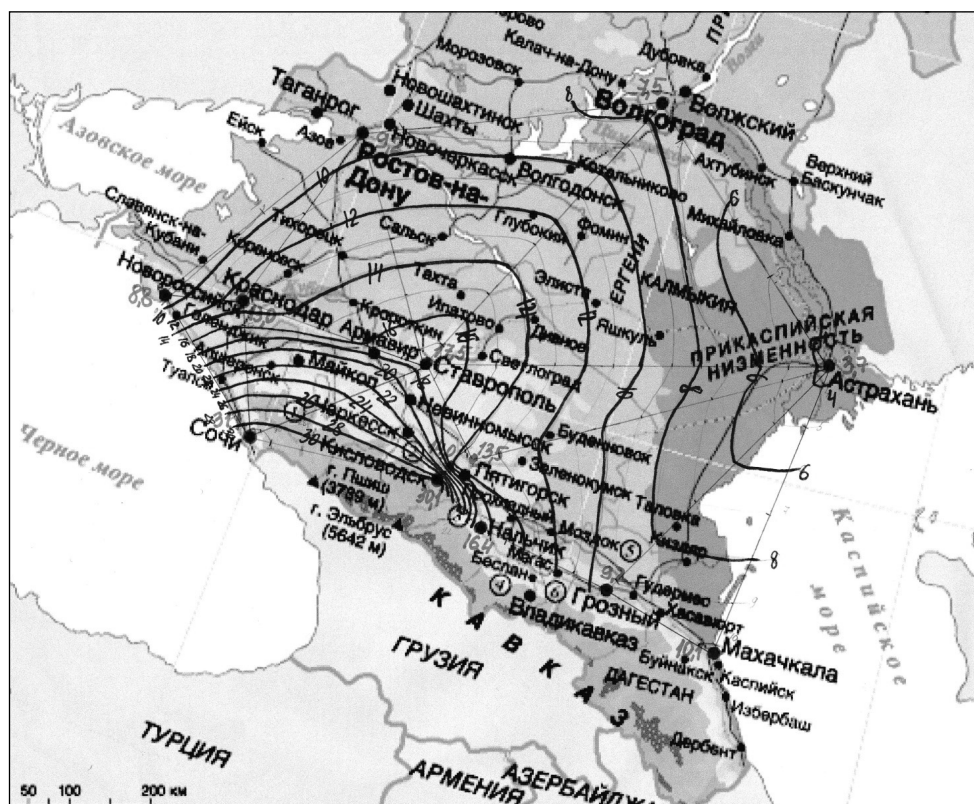


Рис. 3. Карта изолиний Северного Кавказа и приближенной к нему территории для $p = 0,1$

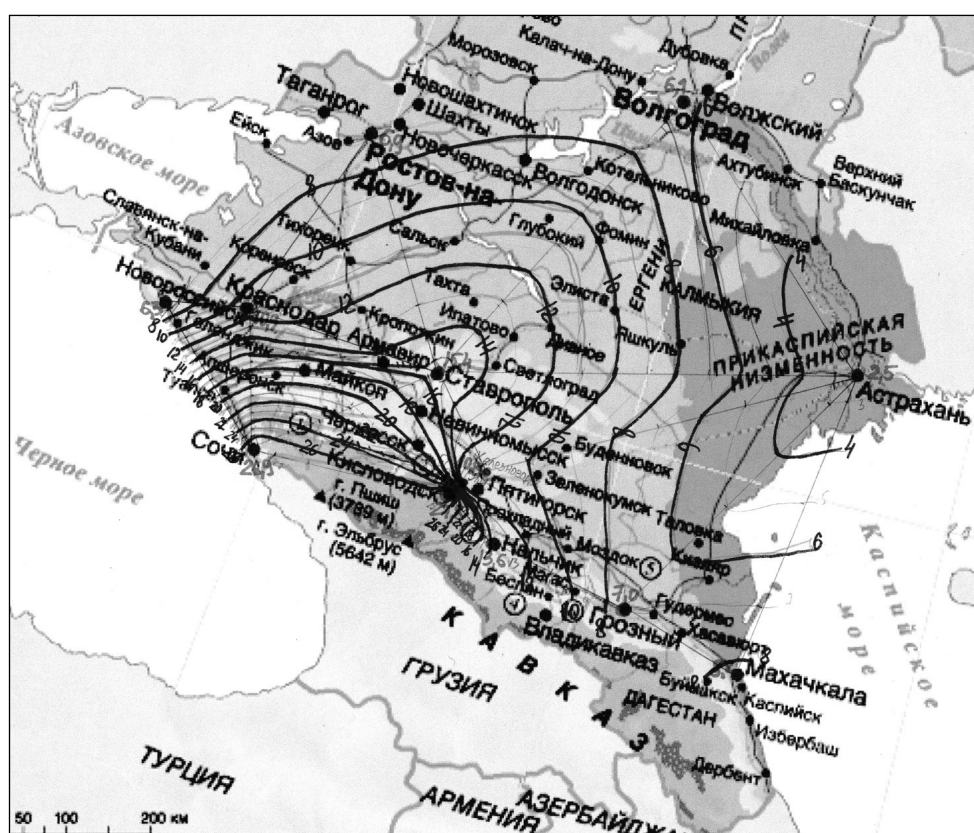
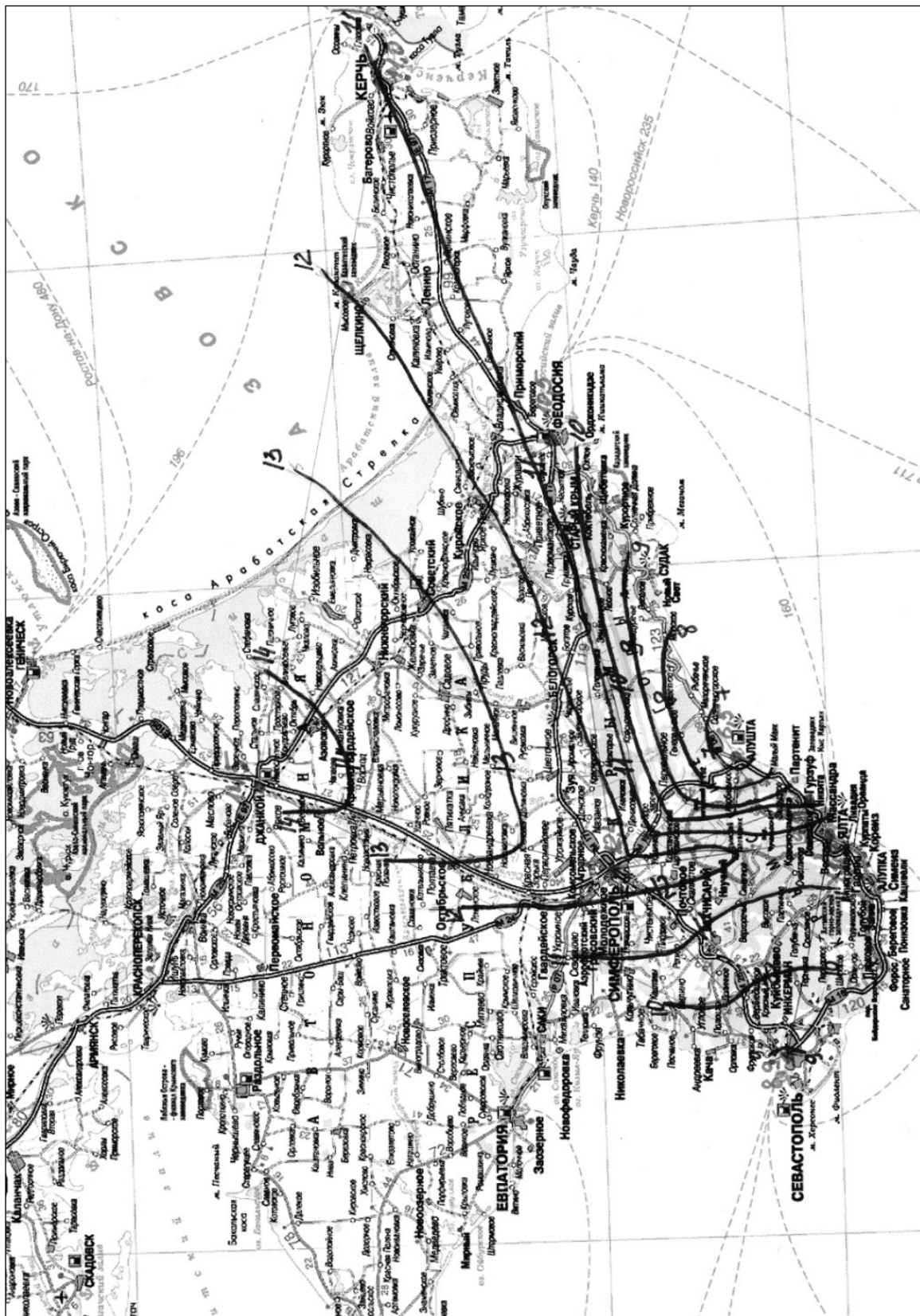
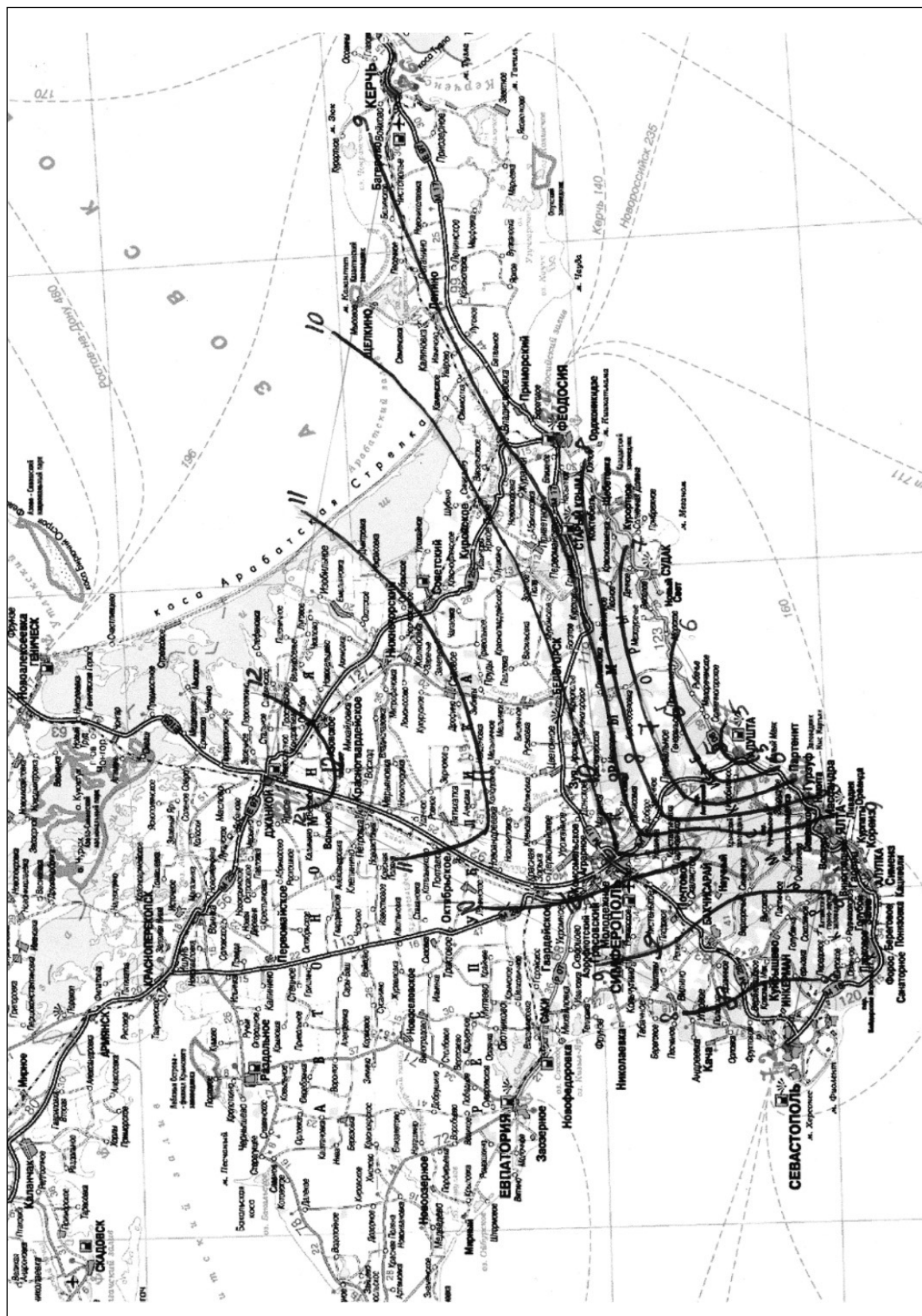


Рис. 4. Карта изолиний Северного Кавказа и приближенной к нему территории для $p = 0,05$

Рис. 5. Карта изолиний Крыма для $p = 0,1$

Рис. 6. Карта изолиний Крыма для $p = 0,05$

го следует, что реальные значения величины слоя осадков в несколько раз отличаются от рекомендованных СНиП 2.04.03-85.

Выводы

Полученные карты изолиний позволяют определить величину слоя осадков в конкретной местности без обработки данных метеонаблюдений, что значительно упрощает и уточняет расчеты при проектировании очистных сооружений. Карты могут быть рекомендованы к внедрению в проектную и учебную практику.

Библиографический список

1. Иванов В. Г. Временные указания по применению, подбору и оценке эффективности работы локальных очистных сооружений «Flotenk» для очистки поверхностных сточных вод / В. Г. Иванов, Н. А. Черников, А. В. Петров и др. – СПб. : Флотенк, 2012. – 102 с.
2. СП 32.13330.2012. Свод правил. Канализация. Наружные сети и сооружения. Sewerage. Pipelines and wastewater treatment plants. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85. – М. : Минрегион России, 2012. – 100 с.
3. Швецов В. Н. Рекомендации по расчету систем сброса, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты / В. Н. Швецов, М. Г. Журба, В. Г. По-

номарев. – СПб. : Росстрой ФГУП «НИИВОДГЕО», 2005. – 54 с.

References

1. Ivanov V. G., Chernikov N. A., Petrov A. V., Kotlygin A. Ye. & Kobzyev D. V. Vremennyye ukazaniya po primeneniyu, podboru i otsenke effektivnosti raboty lokalnykh ochistnykh sooruzheniy “Flotenk” dlya ochistki poverkhnostnykh stochnykh vod [Temporary Directions for Application, Selections and Efficiency Evaluation of the Operation of Flotenk Local Wastewater Treatment Facilities for Treatment of Surface Water. St. Petersburg, Flotenk, 2012. 102 p.
 2. Svod pravil. Kanalizatsiya. Naruzhnyye seti i sooruzheniya [Code of Practices. Sewerage. Pipelines and Wastewater Treatment Plants]. SP 32.13330.2012. Updated edition of SNiP 2.04.03-85. Moscow, Regional Development Ministry of Russia, 2012. 100 p.
 3. Shvetsov V. N., Zhurba M. G. & Ponomarev V. G. Rekomendatsii po raschetu sistem sbrosa, otvedeniya i ochistki poverkhnostnogo stoka s selitebnykh territoriy, ploshchadok predpriyatiy i opredeleniyu usloviy vypuska yego v vodnyye obyekty [Recommendations for Calculation of Systems for Discharge, Disposal and Treatment of Surface Flow from Residential Areas and Industrial Sites, and for Determining the Conditions of Releasing It into Water Bodies]. St. Petersburg, Rosstroy FGUP “NIIVODGEO”, 2005. 54 p.
- ИВАНОВ Виктор Григорьевич – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой; КАЛАЧКО Анастасия Александровна – выпускник (Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I).