

УДК 696.13

ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ И ТЕПЛОВЫЙ АНАЛИЗ ГРУНТОВ В ЗОНАХ РАЗМЕЩЕНИЯ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Половников Вячеслав Юрьевич¹,
polovnikov@tpu.ru

Вольнин Анатолий Федорович²,
Volynin_AF@vodokanal.spb.ru

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

² Государственное унитарное предприятие «Водоканал Санкт-Петербурга»,
Россия, 191015, г. Санкт-Петербург, ул. Кавалергардская, 42.

Актуальность исследования обусловлена тем, что нормативное функционирование систем канализации городов и промышленных предприятий является залогом поддержания экологической безопасности. На канализационных коллекторах, расположенных в центральной, северной и восточной частях г. Санкт-Петербурга, происходили аварийные ситуации с выходом пльвунного грунта в коллектор при строительстве (площадь Фаберже, наб. р. Невы) или при эксплуатации с образованием крупной воронки (Рижский проспект). Над канализационными коллекторами, проходящими по набережным реки Фонтанки, канала Грибоедова и реки Мойки, происходили провалы грунта и многочисленные просадки дорожного покрытия. В результате геофизических работ на этих участках установлены пльвунные грунты, характеризующиеся очень низкими удельными электрическими сопротивлениями (менее 3 Ом·м). Такие удельные электрические сопротивления ранее не отмечались для грунтов, слагающих геологический разрез четвертичных отложений города.

Цель: геофизический и тепловой анализ грунтов в зонах размещения канализационных коллекторов г. Санкт-Петербурга, расположенных в местах аварий.

Объект: группа канализационных коллекторов г. Санкт-Петербурга, расположенных в местах аварий с выходом пльвунного грунта.

Методы. Геофизические работы выполнены методом электротомографических измерений на 18 профилях вдоль трасс коллекторов и перпендикулярно к ним и методом спектрального сейсмоакустического профилирования по 4 профилям, совмещенным с профилями электроразведки. Численный анализ процессов переноса тепла выполнен с применением обоснованной разностной сетки и шагов интегрирования по времени. Обоснованность и достоверность результатов численного анализа температурных полей в зонах размещения канализационных коллекторов следуют из проведенных проверок используемого метода на сходимость и устойчивость решений на множестве сеток, выполнения условий баланса энергии на границах области расчета, а также подтверждаются сравнением результатов с аналогичными результатами. Использовался метод конечных разностей и неявная разностная схема. Разрыв теплофизических характеристик на границах контакта между слоями и применение комбинированной системы координат являлись особенностями решения поставленной задачи.

Результаты. Проведены геофизическое исследование и анализ температурных полей грунта в зонах размещения канализационных коллекторов г. Санкт-Петербурга, расположенных в местах аварий. Показано существенное влияние канализационного коллектора на распределение температур в зоне его размещения. Теоретически подтверждена возможность развития и размножения бактерий группы психрофилов в местах прокладки канализационных коллекторов.

Ключевые слова:

Канализационный коллектор, температурное поле, математическое моделирование, геофизические работы, электрическое сопротивление грунта.

Введение

Канализационные коллекторы являются наиболее важным элементом системы водоотведения города, состоящей из канализационных сетей различного уровня – домовых, квартальных, уличных, канализационных коллекторов и канализационных насосных станций. Аварии на канализационных коллекторах способствуют разрушению дорожной сети и зданий в зоне их влияния, а также загрязнению окружающей среды.

Нормативное функционирование систем канализации городов и промышленных предприятий [1] является залогом поддержания экологической безопасности. Проблемам эксплуатации канализационных систем в настоящее время уделяется пристальное внимание во всем мире. В спектр рассматриваемых

вопросов входят не только проблемы очистки стоков [2–6] и сокращения затрат, связанных с ней [7, 8], но и задачи моделирования работы систем канализования в различных условиях [8–12].

С особой внимательностью необходимо относиться к канализационным системам, эксплуатируемым в сложных геологических условиях. В качестве ярчайшего примера можно привести город Санкт-Петербург, где можно встретить весь спектр факторов, усложняющих работу городской канализации. В геологическом разрезе Санкт-Петербурга широко развиты неустойчивые грунты – пылеватые водонасыщенные пески и супеси. Наибольшую опасность представляют «Петербургские пльвуны», отличающиеся высокой текучестью, что вызвано присутствием в них микроорганизмов, связанных с болотными отложениями.

ями, широко развитыми на территории города. Это приводит к авариям и дефектам на канализационных коллекторах и сетях (разгерметизация трубопроводов, образование просадок участков трубопроводов, приводящих к их деформациям и засорам, затруднению или прекращению стока канализационных вод).

Похожие проблемы встречаются и в других крупных городах России. Например, неустойчивые грунты стали одной из причин аварий на канализационных сетях Москвы, Нижнего Новгорода, Воронежа и Краснодара.

Дефекты на канализационных коллекторах также могут быть связаны с коррозионными процессами на внутренних стенках каналов, в результате которых образуются зоны местной коррозии [13–15]. Еще одним фактором, приводящим к дефектам внутренних поверхностей канализационных каналов, является жизнедеятельность внутриканальных микроорганизмов. Такие повреждения отмечались на канализационных коллекторах в Санкт-Петербурге [16]. Однако, в связи с тем, что внутренние стенки канализационных коллекторов покрыты защитным слоем, эти дефекты имели локальный характер и не приводили к авариям.

На канализационных коллекторах, расположенных в центральной, северной и восточной частях г. Санкт-Петербурга, происходили аварийные ситуации (рис. 1) с выходом плавунного грунта в коллектор при строительстве (площадь Фаберже, наб. р. Невы) или при эксплуатации с образованием крупной воронки (Рижский проспект). Над канализационными коллекторами, проходящими по набережным реки Фонтанки, канала Грибоедова и реки Мойки, происходили провалы грунта и многочисленные просадки дорожного покрытия [17]. В результате геофизических работ на этих участках установлены плавунные грунты, характеризующиеся существенно меньшими (чем ожидалось) удельными электрическими сопротивлениями (менее 3 Ом·м). Такие значения удельных электрических сопротивлений ранее не отмечались для грунтов, слагающих геологический разрез четвертичных отложений города. Как показано в работах [17–20], под влиянием микроорганизмов пылеватые водонасыщенные грунты приобретают повышенную текучесть, электропроводность их существенно увеличивается, что соответствует снижению удельного электрического сопротивления грунта до менее 3 Ом·м [17].



Рис.1. Провал грунта на участке аварии

Fig. 1. Soil failure at the accident site

Низкие удельные электрические сопротивления грунтов, как показано в [18, 20], могут быть вызваны продуктами жизнедеятельности бактерий группы психрофилов. Эти бактерии были установлены ранее в нескольких скважинах на глубинах от 2 до 45 м при работах в центре города в «Новой Голландии» [16]. Благоприятный интервал температур для жизнедеятельности этих бактерий составляет от 5 до 18 градусов Цельсия, а максимальное размножение бактерий происходит при температурах грунта 14–15 градусов Цельсия [18, 20].

Целью работы является геофизический и тепловой анализ грунтов в зонах размещения канализационных коллекторов г. Санкт-Петербурга, расположенных в местах аварий.

Геофизическое исследование

Геофизические исследования в зонах размещения канализационных коллекторов г. Санкт-Петербурга, расположенных в местах аварий, проведены силами Государственного унитарного предприятия «Водоканал Санкт-Петербурга» [17]. Основные результаты этих исследований состоят в следующем.

По электрическим свойствам разрез грунтов в Санкт-Петербурге характеризуется удельными электрическими сопротивлениями от 15 Ом·м (глинистые грунты) до 2000 Ом·м (пески и насыпные грунты). В результате геофизических работ на аварийных участках установлены плавунные грунты, характеризующиеся существенно низкими удельными электросопротивлениями (менее 3 Ом·м).

Низкое удельное электрическое сопротивление грунтов может быть связано с наличием в зонах размещения коллекторов бактерий группы психрофилов. Питательной средой для роста и размножения микроорганизмов являются болотные отложения [18, 20]. Территория Санкт-Петербурга до начала его застройки представляла заболоченную низменность с широким развитием торфяных отложений и высокой концентрацией микроорганизмов. В силу своей подвижности они вместе с нисходящими грунтовыми водами мигрировали в нижерасположенные горизонты грунтов до глубин 50–70 м, на те участки, где были благоприятные условия для жизни. Интервалы температур для жизнедеятельности различных типов бактерий изменяются в пределах от первых единиц до сотен градусов Цельсия.

Продуктами жизнедеятельности бактерий являются кислоты и газы (метан). Под их воздействием пески теряют свои прочностные свойства, приобретают

текучесть и превращаются в пльвуны. Тонкодисперстные грунты (супеси, суглинки и глины) в результате жизнедеятельности микробов также теряют свои прочностные свойства и превращаются в пльвуны. Удельная электрическая проводимость (величина обратная удельному электрическому сопротивлению) при росте концентрации микроорганизмов увеличивается в 10 и более раз. Этим объясняются anomalно низкие удельные электрические сопротивления грунтов на электротомографических геоэлектрических разрезах (рис. 2). Прочностные свойства таких пльвунов ухудшаются при воздействии на них динамических нагрузок. В этих случаях «спящий» пльвун «просыпается» и приобретает свойства текучей жидкости. Такие грунты вскрыты скважинами среди пылеватых водонасыщенных грунтов и изучены в нескольких районах Санкт-Петербурга.

Геофизические работы выполнены методом электротомографических измерений на 18 профилях вдоль трасс коллекторов и перпендикулярно к ним и методом спектрального сейсмоакустического профилирования по 4 профилям, совмещенным с профилями электроразведки. На рис. 2 приведен типичный электротомографический разрез грунта в зоне размещения аварийного глубинного канализационного коллектора.

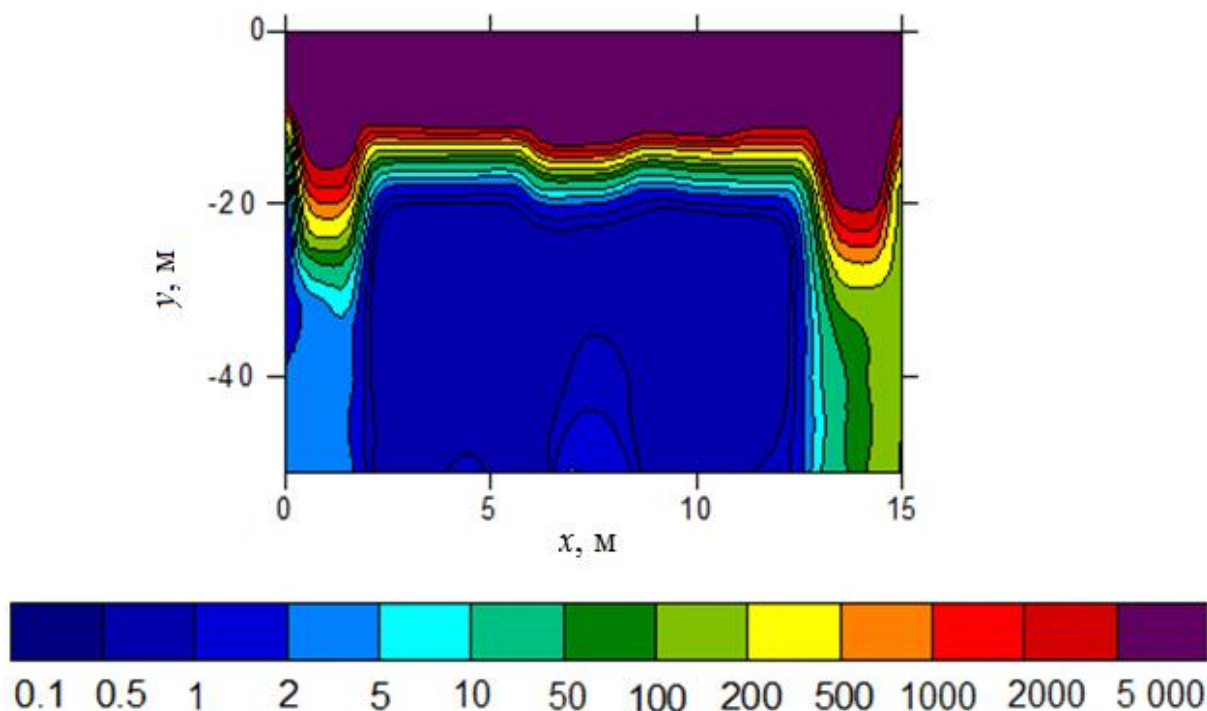


Рис. 2. Типичный электротомографический разрез грунта, Ом·м

Fig. 2. Typical electrotomographic section of the soil, Ohm·m

В результате работ выделены участки с пльвунами, характеризующиеся очень низкими удельными электросопротивлениями (ниже 1 Ом·м), расположенные в зоне канализационных коллекторов над ними, обладающие высокой текучестью, вызванной высокой концентрацией микроорганизмов. При этом установлены локальные размеры пльвунных грунтов,

которые составляют до 20 м в ширину при интервале глубин от 6 до более чем 40 м. По результатам геофизических работ принято решение о бурении проверочной скважины над канализационным коллектором на участке прогнозируемого пльвуна до глубины 45 м на одном из геофизических профилей с целью анализа грунтов на наличие микроорганизмов.

Численное моделирование

В качестве примера рассматривается типичный канализационный коллектор г. Санкт-Петербурга (рис. 3). Для этой области была решена двумерная стационарная задача теплопроводности в системе «канализационный коллектор – окружающая среда».

Основные допущения состоят в следующем:

1. Условия идеального контакта выполняются на границах слоев.
2. Свойства веществ являются известными и не зависящими от температуры величинами.
3. Процессы теплопереноса в полости канализационного коллектора не учитываются.
4. На внутренней поверхности канализационного коллектора поддерживается постоянная температура.

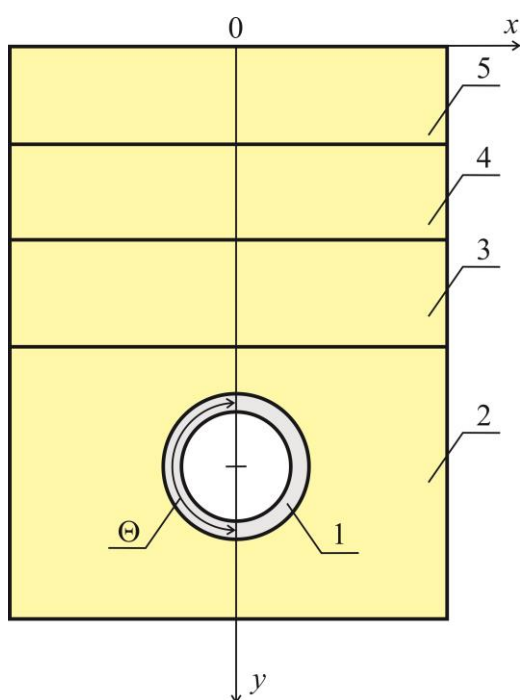


Рис. 3. Схема области решения: 1 – коллектор; 2 – грунт глинистый; 3 – грунт песчаный; 4 – супеси; 5 – суглинки и техногенный грунт (глубины слоев приведены в таблице)

Fig. 3. Scheme of the solution area: 1 – collector; 2 – clay soil; 3 – sandy soil; 4 – sandy loam; 5 – loam and technogenic soil (depth of layers are listed in the table)

Математическая модель, по аналогии с [21], представлена в следующем виде:

$$\frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + \frac{1}{x} \frac{\partial T_1}{\partial x} + \frac{1}{x^2} \frac{\partial^2 T_1}{\partial \Theta^2} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 T_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_i}{\partial y^2} = 0, \quad i=1-4. \quad (2)$$

$$T_{1,к} = T_к = \text{const}. \quad (3)$$

$$\lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial x} = \lambda_j \frac{\partial T_j}{\partial x}, \quad T_i = T_j, \quad i,j=1-5; \quad i \neq j; \quad (4)$$

$$\lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial y} = \lambda_j \frac{\partial T_j}{\partial y}, \quad T_i = T_j, \quad i,j=1-5; \quad i \neq j; \quad (5)$$

$$\frac{\partial T_1}{\partial \Theta} = 0, \quad (6)$$

$$T_{5,г} = T_г = \text{const}. \quad (7)$$

$$\frac{\partial T_i}{\partial x} = 0, \quad x \rightarrow \pm\infty, \quad i=2-5; \quad (8)$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial y} = 0, \quad y \rightarrow -\infty. \quad (9)$$

Обозначения: T – температура, К; x, y, Θ – координаты; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К).

Индексы: 1–5 – номера областей расчета (рис. 3); к – коллектор; г – грунт.

Задача (1)–(9) решена методом конечных разностей [22]. Разрыв теплофизических характеристик на границах контакта между слоями (рис. 3) и применение комбинированной системы координат являлись особенностями этой задачи.

Моделирование выполнено для бетонного коллектора с внешним диаметром 6 м. Расстояние от поверхности грунта до оси коллектора равно 56 м.

Температура на внутренней поверхности коллектора составляла $T_к=18$ °С и соответствовала температуре канализационной жидкости. Среднегодовая температура поверхности грунта для г. Санкт-Петербурга принималась равной $T_г=2$ °С [23].

В таблице приведены характеристики рассматриваемой системы [24–26].

Таблица. Характеристики области решения задачи
Table. Characteristics of the problem solution area

Наименование/Name	Глубина слоя, м Layer depth, m	λ , Вт/(м·К) λ , W/(m·K)
Коллектор/Collector	–	1,70
Грунт глинистый/Clay soil	62	2,60
Грунт песчаный/Sandy soil	25	3,40
Супеси/Sandy loam	3,5	1,92
Суглинки и техногенный грунт Loam and technogenic soil	9,5	1,74

Численный анализ выполнен для области решения с размерами 100 м в глубину и 120 м в ширину. Этот размер области расчета выбран из условия отсутствия изменения температуры на внешнем контуре области решения (не более 0,5 %).

Типичные результаты численного анализа температурных полей в зоне размещения канализационного коллектора приведены на рис. 4.

Обоснованность и достоверность результатов численного анализа температурных полей в зонах размещения канализационных коллекторов следует из проведенных проверок используемого метода на сходимость и устойчивость решений на множестве сеток, выполнения условий баланса энергии на границах области расчета, а также подтверждается сравнением результатов с аналогичными [21].

Результаты численного исследования позволяют сделать ожидаемое заключение о том, что распреде-

ление температур на рис. 4 представляет собой изотермические линии, которые сгущаются непосред-

ственно над канализационным коллектором и более разрежены при удалении от него.

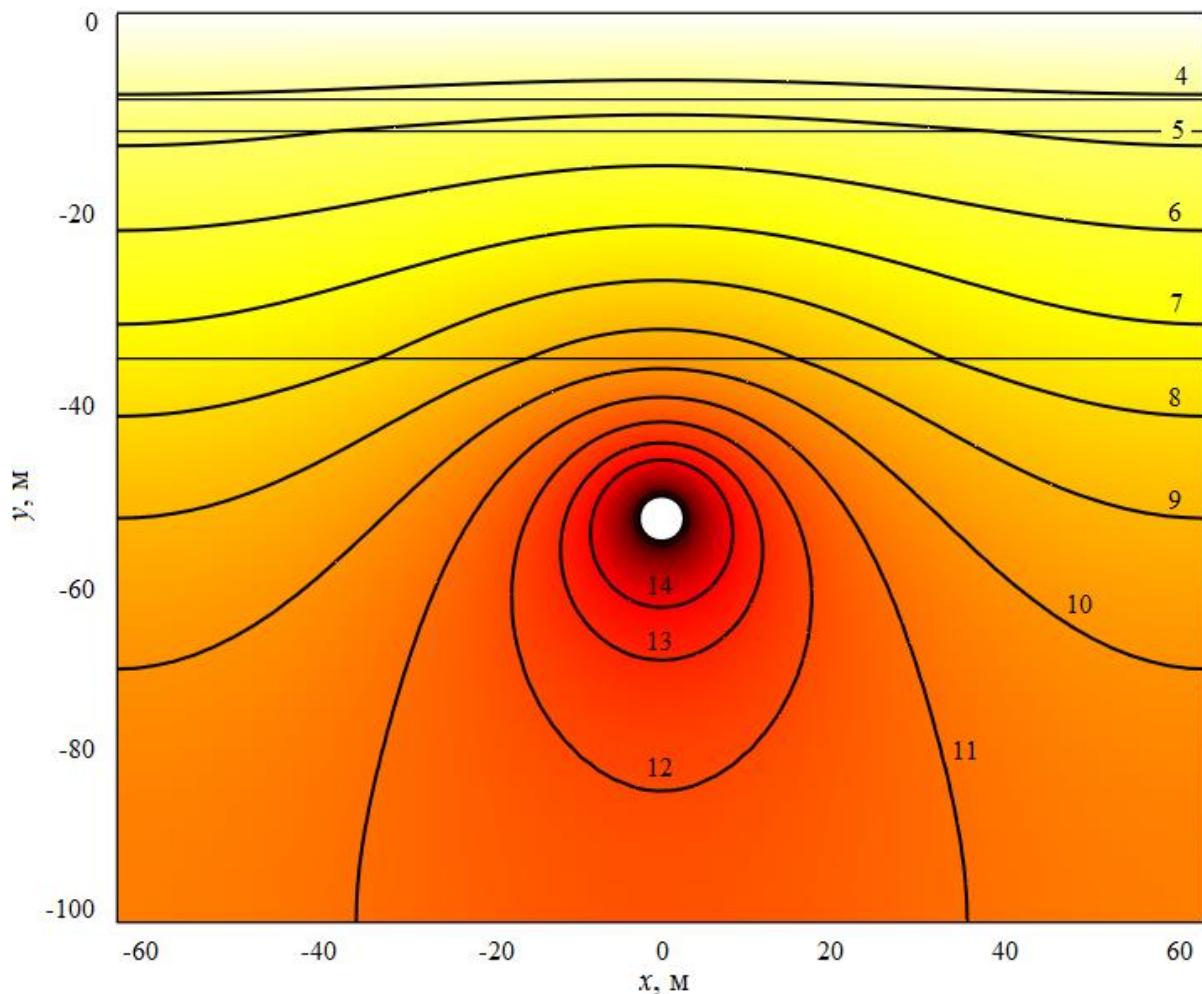


Рис. 4. Распределение температур в зоне размещения коллектора, °С

Fig. 4. Temperature distribution in the collector area, °C

Значения температур грунта в зоне размещения аварийного канализационного коллектора (рис. 4) позволяют сделать вывод о возможности развития и размножения бактерий группы психрофилов в местах прокладки.

Заключение

Проведены геофизическое исследование и анализ температурных полей грунта в зонах размещения ка-

нализационных коллекторов г. Санкт-Петербурга, расположенных в местах аварий.

Показано существенное влияние канализационного коллектора на распределение температур в зоне его размещения.

Теоретически подтверждена возможность развития и размножения бактерий группы психрофилов в местах прокладки канализационных коллекторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wysocki L., Madryas C., Grosel J. Analysis of the structure of liners used for the modernisation of brick collectors // *Studia Geotechnica et Mechanica*. – 2021. – V. 43 (s1). – P. 501–509.
2. Bioretention systems as a part of advanced environmental treatment practice of wastewater in the city of Novi Sad / A. Durakovic, I. Mihajlovic, M. Dogo, M. Sekulic, M. Markovic, M.V. Miloradov // *Fresenius Environmental Bulletin*. – 2018. – V. 27 (1). – P. 283–290.
3. Development of biofilm collectors as passive samplers in sewerage systems – a novel wastewater monitoring method / M.E. Aydin, F. Beduk, S. Aydin, S. Koyuncu, G. Genuit, M. Bahadir // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2020. – V. 27 (8). – P. 8199–8209.
4. Banana A.A.S., Mohamed R.M.S.R., Al-Gheethi A.A.S. Mercury pollution for marine environment at Farwa Island, Libya // *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. – 2016. – V. 14 (1). – Article № 246.
5. Evaluation and source apportionment of heavy metals (HMs) in sewage sludge of municipal wastewater treatment plants (WWTPs) in Shanxi, China / B. Duan, F. Liu, W. Zhang, H. Zheng, Q. Zhang, X. Li, Y. Bu // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2015. – V. 12 (12). – P. 15807–15818.
6. Duan B., Feng Q. Comparison of the potential ecological and human health risks of heavy metals from sewage sludge and livestock manure for agricultural use // *Toxics*. – 2021. – V. 9 (7). – Article № 145.
7. Bugajski P., Nowobilaska-Majewska E., Majewski M. The impact of atmospheric precipitation on wastewater volume flowing into

- the wastewater treatment plant in nowy targ (Poland) in terms of treatment costs // *Energies*. – 2021. – V. 14 (13). – Article № 3806.
8. Present condition analysis and design of sewer collector recovery / R. Csicsaiová, I. Marko, J. Hrudka, I. Skultétyová, S. Stanko // *Pollack Periodica*. – 2020. – V. 15 (3). – P. 184–195.
 9. Use of continuous simulation model (COSIMAT) as a complementary tool to model sewer systems: a case study on the Paruck collector, Brussels, Belgium / E. Nkiaka, N.K. Shrestha, O.T. Leta, W. Bauwens // *Water and Environment Journal*. – 2016. – V. 30 (3–4). – P. 310–320.
 10. Predicting wastewater temperatures in sewer pipes using abductive network models / M. Abdel-Aal, M. Mohamed, R. Smits, R.E. Abdel-Aal, K. de Gussem, A. Schellart, S. Tait // *Water Science and Technology*. – 2015. – V. 71 (1). – P. 89–96.
 11. Campisano A., Creaco E., Modica C. Experimental and numerical analysis of the scouring effects of flushing waves on sediment deposits // *Journal of Hydrology*. – 2004. – V. 299 (3–4). – P. 324–334.
 12. Parker W.J., Yu J. Dynamic modeling to assess worker exposure to gas-phase volatile organic compounds in collector sewers // *Water Environment Research*. – 2001. – V. 73 (4). – P. 450–460.
 13. Effects of biofilm structures on oxygen distribution and mass transport / D. de Bee, P. Stoodley, F. Roe, Z. Lewandowski // *Biotechnology & Bioengineering*. – 1994. – V. 43 (11). – P. 1131–1138.
 14. Ellis M.B. Dematiaceous Hyphomycetes. – Kew: Commonwealth Mycological Institute, 1971. – 608 с.
 15. Devis D. Understanding biofilm resistance to antibacterial agents // *Nature Reviews Drug Discovery*. – 2003. – V. 2. – P. 114–122.
 16. Отведение и очистка сточных вод Санкт-Петербурга / под общ. ред. Ф.В. Кармазинова. – СПб: Стройиздат СПб, 1999. – 418 с.
 17. Volynin A.F. Survey of soil conditions on damage sections of the sewer collectors in St. Petersburg using electrical sounding with capacitive electrodes // *Engineering and Mining Geophysics*. – 2020. – V. 2020. – P. 1–7.
 18. Effects of microbial processes on electrolytic and interfacial electrical properties of unconsolidated sediments / G.Z. Abdel Aal, E.A. Atekwana, L.D. Slater, E.A. Atekwana // *Geophysical Research Letters*. – 2004. – V. 31 (12). – Article № L12505.
 19. Study of pollution in airports with resistivity sounding / V. Shevnin, A. Mousatov, E. Nakamura-Labastida, O. Delgado Rodriguez, J. Sanche-Osi, H. Sanchez-Osio // *Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems*. – 2003. – P. 180–189. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Study-Of-Oil-Pollution-In-Airports-With-Resistivity-Shevnin-Mousatov/884de37849491e19bed28fcd7e76042160d779a3> (дата обращения: 15.04.2022).
 20. Dashko R.E., Alekseev I.V. Main features of engineering-geological and geotechnical research of microbiota influence on hard rocks in the urban underground space // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*. – 2019. – V. 19 (1.2). – P. 369–376. URL: https://www.researchgate.net/publication/334734108_MAIN_FEATURES_OF_ENGINEERING-GEOLOGICAL_AND_GEOTECHNICAL_RESEARCH_OF_MICROBIOTA_INFLUENCE_ON_HARD_ROCKS_IN_THE_URBAN_UNDERGROUND_SPACE (дата обращения: 15.04.2022).
 21. Половников В.Ю. Тепловые режимы и тепловые потери подземных трубопроводов с учетом реальных условий теплообмена на внешнем контуре взаимодействия // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2018. – Т. 329. – № 1. – С. 124–131.
 22. Garcia A.L. Numerical methods for physics. – San Jose CA: CreateSpace Independent Publ. Platform, 2015. – 432 p.
 23. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика. – М.: Стройиздат, 1983. – 57 с.
 24. Гува А.Я. Краткий теплофизический справочник. – Новосибирск: Сибвузиздат, 2002. – 300 с.
 25. Gupta H.K. Encyclopedia of solid earth geophysics – Netherlands: Springer, 2011. – 1578 p.
 26. Fundamentals of heat and mass transfer / T.L. Bergman, A.S. Lavine, F.P. Incropera., D.P. DeWitt. – NY: John Wiley & Sons, 2011. – 1048 p.

Поступила 15.04.2022 г.

Информация об авторах

Половников В.Ю., доктор технических наук, доцент Инженерной школы энергетики Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Волынин А.Ф., руководитель геофизической группы Государственного унитарного предприятия «Водоканал Санкт-Петербурга».

UDC 696.13

GEOPHYSICAL AND THERMAL ANALYSIS OF SOILS IN THE ZONES OF LOCATION OF SEWER COLLECTORS IN ST. PETERSBURG

Viacheslav Yu. Polovnikov¹,
polovnikov@tpu.ru

Anatoliy F. Volynin²,
Volynin_AF@vodokanal.spb.ru

¹ National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

² Vodokanal of St. Petersburg,
42, Kavalergardskaya street, St. Petersburg, 191015, Russia.

The relevance of the research is related to the normative functioning of the sewer systems of cities and industrial enterprises. This is the key to ensuring environmental safety. On sewer collectors located in the central, northern and eastern parts of St. Petersburg, emergency situations occurred with the release of quicksand into the collector during construction (Faberge Square, Neva River embankment) or during operation with the formation of a large funnel (Rizhsky Avenue). Above the sewer collectors, passing along the embankments of the Fontanka River, the Griboedov Canal and the Moika River, there were soil failures and numerous subsidence of the road surface. As a result of geophysical work in these areas, quicksand soils were found, which are characterized by very low electrical resistivity (less than 3 Ohm·m). Such electrical resistivity has not previously been noted for the soils that make up the geological section of the Quaternary deposits of the city.

The main aim of the study is geophysical and thermal analysis of soils in the domains of placement of sewer collectors in St. Petersburg, located at the sites of accidents.

The object of the research is a sewer collectors in St. Petersburg, located in the places of accidents with the release of quicksand.

Methods. Geophysical work was carried out using the method of electrotomographic measurements on 18 profiles along the collector routes and perpendicular to them and by the method of spectral seismoacoustic profiling along four profiles, combined with electrical survey profiles. Numerical analysis of heat and mass transfer was executed with rational values of the grid parameters and the time integration step. The assessment of the reliability of the results of the work was carried out by testing on the example of heat transfer problems, the numerical methods used and elements of the developed algorithms for solving boundary value problems of heat and mass transfer, checking the conservatism of difference schemes, and comparing with the known data. The finite difference method and the implicit difference scheme were used. The peculiarity of the problem solving was the discontinuity of the thermophysical characteristics at the contact boundaries between the layers and the use of a combined coordinate system.

Results. A geophysical study and analysis of the temperature fields of the soil in the areas of the sewer collectors of St. Petersburg, located in the places of accidents, were carried out. A significant influence of the sewer collector on the temperature distribution in the zone of its location is shown. The possibility of development and reproduction of bacteria of the psychrophilic group in places where sewer collectors are laid has been theoretically confirmed.

Key words:

Sewer collector, temperature field, mathematical modeling, geophysical works, soil electrical resistance.

REFERENCES

1. Wysocki L., Madryas C., Grosel J. Analysis of the structure of liners used for the modernisation of brick collectors. *Studia Geotechnica et Mechanica*, 2021, vol. 43 (s1), pp. 501–509.
2. Durakovac A., Mihajlovic I., Dogo M., Sekulic M., Markovic M., Miloradov M.V. Bioretention systems as a part of advanced environmental treatment practice of wastewater in the city of Novi Sad. *Fresenius Environmental Bulletin*, 2018, vol. 27 (1), pp. 283–290.
3. Aydin M.E., Beduk F., Aydin S., Koyuncu S., Genuit G., Bahadir M. Development of biofilm collectors as passive samplers in sewerage systems – a novel wastewater monitoring method. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, vol. 27 (8), pp. 8199–8209.
4. Banana A.A.S., Mohamed R.M.S.R., Al-Gheethi A.A.S. Mercury pollution for marine environment at Farwa Island, Libya. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 2016, vol. 14 (1), Article number 246.
5. Duan B., Liu F., Zhang W., Zheng H., Zhang Q., Li X., Bu Y. Evaluation and source apportionment of heavy metals (HMs) in sewage sludge of municipal wastewater treatment plants (WWTPs) in Shanxi, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2015, vol. 12 (12), pp. 15807–15818.
6. Duan B., Feng Q. Comparison of the potential ecological and human health risks of heavy metals from sewage sludge and livestock manure for agricultural use. *Toxics*, 2021, vol. 9 (7), Article number 145.
7. Bugajski P., Nowobilska-Majewska E., Majewski M. The impact of atmospheric precipitation on wastewater volume flowing into the wastewater treatment plant in nowy targ (Poland) in terms of treatment costs. *Energies*, 2021, vol. 14 (13), Article number 3806.
8. Csicsaiová R., Marko I., Hrudka J., Skultétyová I., Stanko S. Present condition analysis and design of sewer collector recovery. *Pollack Periodica*, 2020, vol. 15 (3), pp. 184–195.
9. Nkiaka E., Shrestha N.K., Leta O.T., Bauwens W. Use of continuous simulation model (COSIMAT) as a complementary tool to model sewer systems: a case study on the Paruck collector, Brussels, Belgium. *Water and Environment Journal*, 2016, vol. 30 (3–4), pp. 310–320.
10. Abdel-Aal M., Mohamed M., Smits R., Abdel-Aal R.E., De Gussem K., Schellart A., Tait S. Predicting wastewater temperatures in sewer pipes using abductive network models. *Water Science and Technology*, 2015, vol. 71 (1), pp. 89–96.
11. Campisano A., Creaco E., Modica C. Experimental and numerical analysis of the scouring effects of flushing waves on sediment deposits. *Journal of Hydrology*, 2004, vol. 299 (3–4), pp. 324–334.
12. Parker W.J., Yu J. Dynamic modeling to assess worker exposure to gas-phase volatile organic compounds in collector sewers. *Water Environment Research*, 2001, vol. 73 (4), pp. 450–460.

13. De Bee D, Stoodley P., Roe F., Lewandowski Z. Effects of biofilm structures on oxygen distribution and mass transport. *Biotechnology & Bioengineering*, 1994, vol. 43 (11), pp. 1131–1138.
14. Ellis M.B. *Dematiaceous Hyphomycetes*. Kew, Commonwealth Mycological Institute, 1971. 608 p.
15. Devis D. Understanding biofilm resistance to antibacterial agents. *Nature Reviews Drug Discovery*, 2003, vol. 2, pp. 114–122.
16. *Orvedenie i ochistka stochnykh vod Sankt-Peterburga* [Disposal and treatment of wastewater in St. Petersburg]. St. Petersburg, Stroyizdat Publ., 1999. 418 p.
17. Volynin A.F. Survey of soil conditions on damage sections of the sewer collectors in St. Petersburg using electrical sounding with capacitive electrodes. *Engineering and Mining Geophysics*, 2020, vol. 2020, pp. 1–7.
18. AbdelAal G.Z., Atekwana E.A., Slater L.D., Atekwana E.A. Effects of microbial processes on electrolytic and interfacial electrical properties of unconsolidated sediments. *Geophysical Research Letters*, 2004, vol. 31 (12), Article number L12505.
19. Shevnin V., Mousatov A., Nakamura-Labastida E., DelgadoRodriguez O., Sanche-Osi J., Sanchez-Osio H., Study of pollution in airports with resistivity sounding. *Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems*. 2003. pp. 180–189. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/Study-Of-Oil-Pollution-In-Airports-With-Resistivity-Shevnin-Mousatov/884de37849491e19bed28fcd7e76042160d779a3> (accessed: 15 April 2022).
20. Dashko R.E., Alekseev I.V. Main features of engineering-geological and geotechnical research of microbiota influence on hard rocks in the urban underground space. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*. 2019. Vol. 19 (1.2), pp. 369–376. Available at: https://www.researchgate.net/publication/334734108_MAIN_FEATURES_OF_ENGINEERING-GEOLOGICAL_AND_GEOTECHNICAL_RESEARCH_OF_MICROBIOTA_INFLUENCE_ON_HARD_ROCKS_IN_THE_URBAN_UNDERGROUND_SPACE (accessed: 15 April 2022).
21. Polovnikov V.Y. Thermal regimes and thermal losses of underground pipelines in real heat exchange on the outer interaction boundary. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2018, vol. 329, no. 1, pp. 124–131. In Rus.
22. Garcia A.L. *Numerical methods for physics*. San Jose CA, CreateSpace Independent Publishing Platform, 2015. 432 p.
23. *SNiP 2.01.01–82. Stroitel'naya klimatologiya i geofizika* [Building regulations 2.01.01–82. Building Climatology and Geophysics]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1983. 57 p.
24. Guva A.Ya. *Kratkiy teplofizicheskiy spravochnik* [Brief thermophysical reference book]. Novosibirsk, Sibvuzizdat Publ., 2002. 300 p.
25. Gupta H.K. *Encyclopedia of solid earth geophysics*. Netherlands, Springer, 2011. 1578 p.
26. Bergman T.L., Lavine A.S., Incropera F.P., DeWitt D.P. *Fundamentals of heat and mass transfer*. NY, John Wiley & Sons, 2011. 1048 p.

Received: 15 April 2022.

Information about the authors

Viacheslav Yu. Polovnikov, Dr. Sc., associate professor, National Research Tomsk Polytechnic University.
Anatoliy F. Volynin, head of the geophysical group, Vodokanal of St. Petersburg.