

DOI 10.15593/2409-5125/2018.01.12

УДК 624.138.9

**А.В. Захаров**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

## **МОНИТОРИНГ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ЗЕМЛИ В Г. ПЕРМИ**

Приведены результаты мониторинга температуры поверхностных слоев земли. Мониторинг проведен на двух площадках с инженерно-геологическими условиями, характерными для г. Перми.

Геологические условия первой площадки представлены глинистыми грунтами, второй площадки – в основном песчаными. Первая площадка расположена в плотной городской застройке, вторая – в незастроенной части г. Перми. Глубина грунтового массива, на которой производился мониторинг температуры, составила для первой площадки 19 м, для второй – 37 м.

По результатам мониторинга получена картина изменения температуры в грунтовом массиве во времени для обеих площадок. Составлены графики среднемесячных температур грунтового массива на обеих площадках. Выявлена зона колебаний температуры грунтового массива в зависимости от температуры наружного воздуха. Глубина зоны сезонных колебаний температуры составила  $\approx 10$  м. Мониторингом определено, что температура грунтового массива ниже 10 м составляет: для первой площадки  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$  с уменьшением температуры до  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  к глубине 19 м, для второй площадки –  $6\text{--}7\text{ }^{\circ}\text{C}$  до глубины 37 м.

Произведен сравнительный анализ полученных результатов мониторинга, на основании которого сформулированы основные выводы.

**Ключевые слова:** энергоэффективные фундаменты, температура грунта, температурные поля, мониторинг температуры, низкопотенциальная энергия грунта.

При проектировании технологий, основанных на использовании возобновляемой низкопотенциальной тепловой энергии грунтов, одним из основных факторов, влияющих на их эффективность применения, является температура грунтового массива. Влияние также оказывает глубина сезонных колебаний температуры и фактическое значение температуры в зоне постоянных температур [1–6].

Основываясь на имеющемся зарубежном опыте исследования температур грунтов, можно говорить о следующей закономерности распределения температуры по глубине: на глубинах до 10–15 м от поверхности выделяется зона сезонных колебаний температуры; далее незначительная по

---

Захаров А.В. Мониторинг температуры поверхностных слоев земли в г. Перми // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2018. – № 1. – С. 160–167. DOI: 10.15593/2409-5125/2018.01.12

Zakharov A. Temperature monitoring of surface layers of the earth in the city of Perm. PNRPU. Applied ecology. Urban development. 2018. No. 1. Pp. 160-167. DOI: 10.15593/2409-5125/2018.01.12

мощности зона постоянной температуры грунта; на больших глубинах наблюдается постепенное увеличение температуры.

Глубина сезонных колебаний может различаться в зависимости от геологических и климатических условий региона. Температура зоны постоянных температур, как правило, близка к среднегодовой температуре региона.

В частности, глубина сезонных колебаний температуры грунта для Центральной Европы составляет 15 м, температура грунта на глубинах более 15 м составляет 10 °С [7–11], при этом среднегодовая температура наружного воздуха для данного региона порядка 10 °С. На рис. 1 приведен идеализированный график температур грунтового массива для Центральной Европы.

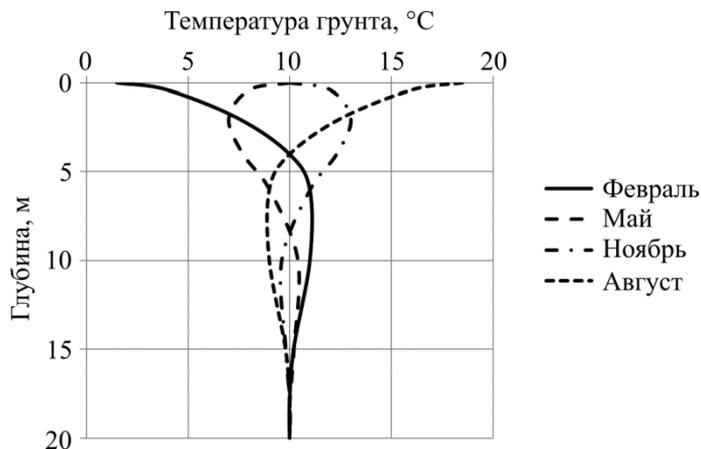


Рис. 1. Температура грунтового массива для Центральной Европы

Целью настоящих исследований является изучение температурного режима приповерхностных слоев земли для города Перми. Мониторинг ведется с 2008 г.

Исследования проводятся для двух основных типов инженерно-геологических условий г. Перми, характерных для лево- и правобережной частей города. В геологическом строении левобережной части, как правило, участвуют глинистые, а правобережной – песчаные четвертичные отложения. Четвертичные отложения, мощностью для обоих типов 10–25 м, подстилаются коренными грунтами – аргиллитами, алевролитами, песчаниками [12].

Для проведения исследований выбраны две экспериментальные площадки. Первая площадка расположена в левобережной части города на территории строительного факультета ПНИПУ. Вторая – в правобережной части, на территории Кампуса ПНИПУ.

Для обеих площадок проведены инженерно-геологические изыскания. В геологическом строении первой площадки учувствуют глинистые насыпные грунты и четвертичные отложения, второй площадки – песча-

ные и глинистые четвертичные отложения. Коренные грунты встречены на глубинах 17–18 м. Фактическое инженерно-геологическое строение площадок приведено на рис. 2.

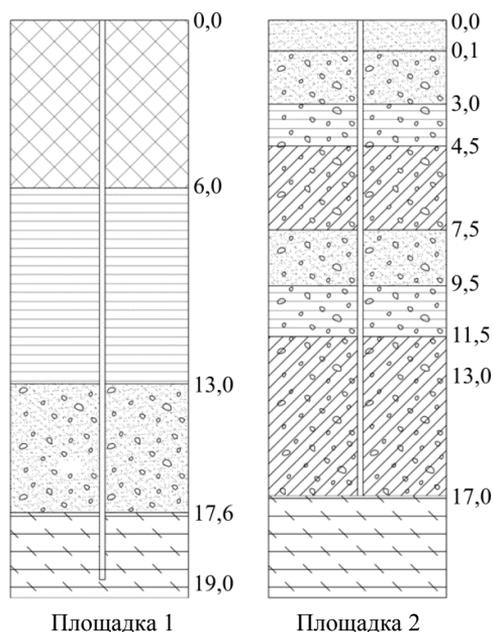


Рис. 2. Инженерно-геологическое строение площадок

Кроме геологического строения, площадки проведения мониторинга отличаются плотностью застройки территории. Первая площадка расположена на территории с высокой плотностью и значительным возрастом (более 50 лет) застройки, с наличием подземных инженерных сетей и коммуникаций. Вторая площадка фактически расположена в лесном массиве, плотность застройки низкая, расстояние от площадки мониторинга до ближайшего здания более 30 м.

Мониторинг температуры грунтового массива проводится при помощи датчиков температуры, которые установлены в предварительно пробуренные скважины с определенным шагом. На первой площадке датчики установлены на глубину до 19 м с шагом 1 м, на второй – на глубину 37 м с шагом до 2 м. Для сбора получаемых данных используются автоматические регистраторы [13–15].

Мониторинг на первой площадке ведется в течение 8 лет с декабря 2008 г. по настоящее время, на второй – в течение 2 лет с августа 2015 г.

Результаты мониторинга обработаны и представлены в виде графиков среднемесячных температур грунта на рис. 3 и 4.

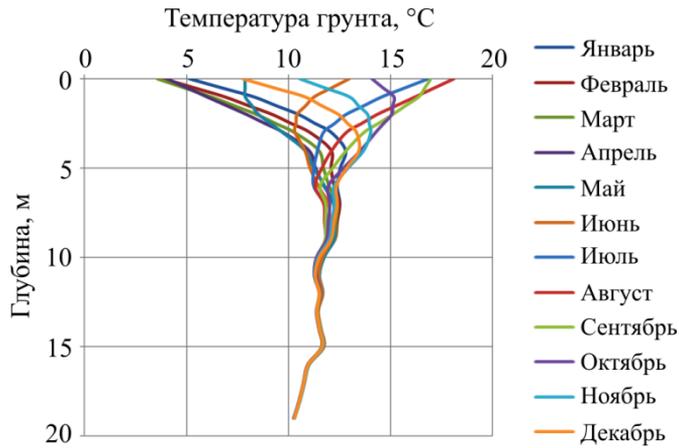


Рис. 3. График среднемесячных температур грунта по результатам мониторинга первой площадки

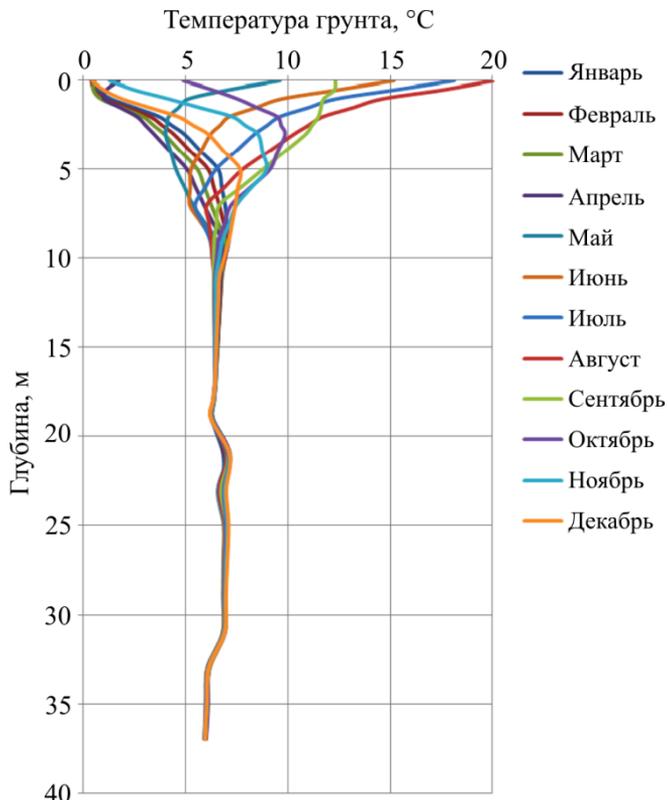


Рис. 4. График среднемесячных температур грунта по результатам мониторинга второй площадки

График рис. 3 показывает, что начиная с глубины  $\approx 10$  м температура грунтового массива практически не зависит от сезонного колебания

температуры наружного воздуха и составляет около 12 °С, снижаясь до 10 °С к 19 м.

На рис. 4 видно, что начиная с глубины ≈10 м температура грунтового массива практически не зависит от сезонного колебания температуры наружного воздуха и составляет 6–7 °С, не изменяясь до исследуемой глубины (37 м).

Для сравнительного анализа на рис. 5 приведены среднегодовые и среднемесячные температуры грунтов двух площадок, среднегодовые температуры приведены в таблице.

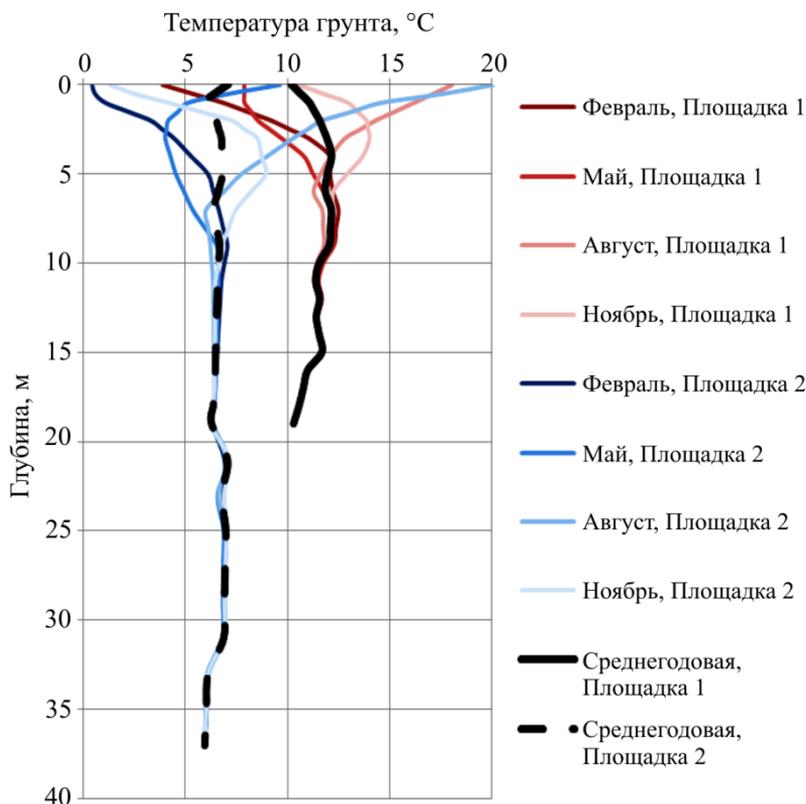


Рис. 5. Сравнение среднемесячных и среднегодовых температур грунта для первой и второй площадки

Полученные графики температур грунтового массива на обеих площадках по характеру схожи с идеализированным графиком, приведенным на рис. 1. На рис. 5 четко выделяется зона сезонных колебаний до 10 м. Более характерная зона постоянных температур получена для второй площадки, для первой площадки температуры грунта в данной зоне постоянны во времени, но уменьшаются с глубиной.

Среднегодовые температуры грунтового массива  
для первой и второй площадки, °С

Глубина, м	Первая площадка	Вторая площадка	Глубина, м	Первая площадка	Вторая площадка
0	10,2	7,1	19		6,3
1	11,0	6,0	21		7,1
2	11,6	6,5	23		6,8
3	11,9	6,8	25		7,0
5	12,0	6,8	27		6,9
7	12,1	6,4	29		6,9
9	12,1	6,7	31		6,9
11	11,4	6,6	33		6,1
13	11,7	6,5	35		6,0
15	10,8	6,5	37		6,0
17	10,3	6,4			

Результаты проводимого мониторинга на двух площадках г. Перми позволяют сделать следующие выводы:

1. Среднегодовая температура грунта для второй площадки составляет 6–7 °С и неизменна по всей глубине исследуемой толщи.

2. Среднегодовая температура грунтов первой площадки составляет 10–12 °С, при этом наиболее высокая температура грунтового массива отмечена на глубине с 3 до 9 м. С увеличением глубины температура снижается.

3. На температурный режим грунтов значительное влияние оказывает плотность застройки исследуемой территории. Более высокие температуры грунтового массива первой площадки, вероятно, обусловлены близостью расположения здания строительного факультета ПНИПУ с отапливаемым подвалом.

**Библиографический список**

1. Numerical analysis of seasonal heat storage in an energy pile foundation / Fabrice Dupray, Lyesse Laloui, Albin Kazangba // *Computers and Geotechnics*. – 2014. – Vol. 55. – P. 67–77.
2. Brandl H. Thermo-Active Ground-Source Structures for Heating and Cooling // *Procedia Engineering*. – 2013. – Vol. 57. – P. 9–18.
3. Ground-Sourced Energy Wells for Heating and Cooling of Buildings / H. Brandl, D. Adam, R. Markiewicz // *Acta Geotechnica Slovenica*. – 2006. – Vol. 3, 2006/1. – P. 5–27.
4. Brandl H. Energy piles and diaphragm walls for heat transfer from and into the ground // *Processing of the 3h International Geotechnical Seminar on Deep Foundations on Bored and Auger Piles*. Ghent. Technical University. – Vienna, Austria, 1998. – P. 38–60.
5. Katzenbach R., Adam D., Waberseck T. Innovationen bei der Nutzung geothermischer Energie durch erdberührte Bauwerke, wie z.B // *Pfahlgründung mittels Energiepfählen*. Geothermie-Symposium Bremerhaven Erdwärme – Energieträger der Zukunft. – Bremerhaven, 2002.
6. Katzenbach R., Waberseck T. Geothermics as an Element of Developed and Sustainable Energy Supply to Prevent the World Climate Change // *Geotechnical Problems of the 21st Century in the Construction of Buildings and Foundations*. – Perm, 2007.
7. Larger geothermal heat pump plants in the central region of Germany / B. Sanner, E. Mands, M.K. Sauer // *Geothermics*. – 2003. – № 32. – P. 589–602.

8. Шаповал В.Г., Моркляник Б.В. Температурні поля в ґрунтових основах теплових насосів: моногр. – Дніпропетровськ: Пороги, 2011. – 123 с.
9. Пономарев А.Б., Винников Ю.Л. Подземное строительство: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. иссл. политехн. ун-та, 2014. – 261 с.
10. Васильев Г.П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев земли: моногр. – М.: Граница, 2006. – 176 с.
11. Кротов В.М. Совершенствование расчета вертикальных грунтовых теплообменников систем теплоснабжения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2009. – Вып. 15 (34). – С. 129–134.
12. Пономарев А.Б., Калюшина С.В. Об инженерно-геологических условиях строительства г. Перми // Проблемы механики грунтов и фундаментостроения в сложных грунтовых условиях: тр. междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 50-летию БашНИИСтроя: в 3 т. – Уфа, 2006. – Т. 2. – С. 119–124.
13. Пономарев А.Б., Захаров А.В. Использование геотермальной энергии для отопления и кондиционирования зданий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2010. – Вып. 17 (36). – С. 119–122.
14. Захаров А.В., Пономарев А.Б. Анализ взаимодействия энергетических фундаментов в геологических и климатических условиях г. Перми // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Урбанистика. – 2011. – № 4. – С. 24–33.
15. Захаров А.В. Применение геотермальной энергии грунта для отопления зданий в климатических и инженерно-геологических условиях Пермского края // Вестник гражданских инженеров. – 2010. – № 2 (23). – С. 85–89.

#### References

1. Fabrice Dupray, Lyesse Laloui, Albin Kazangba. Numerical analysis of seasonal heat storage in an energy pile foundation. *Computers and Geotechnics*, 2014, vol. 55, pp. 67-77.
2. Brandl H. Thermo-Active Ground-Source Structures for Heating and Cooling. *Procedia Engineering*, 2013, vol. 57, pp. 9-18.
3. Brandl H., Adam D., Markiewicz R. Ground-Sourced Energy Wells for Heating and Cooling of Buildings. *Acta Geotechnica Slovenica*, 2006, vol. 3, 2006/1, pp. 5-27.
4. Brandl H. Energy piles and diaphragm walls for heat transfer from and into the ground. *Proceeding of the 3th International Geotechnical Seminar on Bored and Auger Piles*. Ghent. Technical University, Vienna, Austria, 1998, pp. 38-60.
5. Katzenbach R., Adam D., Waberseck T. Innovationen bei der Nutzung geothermischer Energie durch erdberührte Bauwerke, wie z.B. *Pfahlgründung mittels Energiepfählen. Geothermie-Symposium Bremerhaven Erdwärme – Energieträger der Zukunft*, Bremerhaven, 2002.
6. Katzenbach R., Waberseck T. Geothermics as an Element of Developed and Sustainable Energy Supply to Prevent the World Climate Change. *Geotechnical Problems of the 21st Century in the Construction of Buildings and Foundations*, Perm, 2007.
7. Sanner B., Mands E., Sauer M.K. Larger geothermal heat pump plants in the central region of Germany. *Geothermics*, 2003, vol. 32, pp. 589-602.
8. Шаповал, В. Г., Моркляник Б.В. Температурні поля в ґрунтових основах теплових насосів [Temperature fields in the soil bases of heat pumps]. Дніпропетровськ, Пороги, 2011, 123 p.
9. Ponomarev A.B., Vinnikov Ju.L. Podzemnoe stroitel'stvo [Underground building]. Ucheb. Posobie, Perm'. Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet, 2014, 261 p.
10. Vasil'ev G.P. Teplohladosnabzhenie zdaniy i sooruzheniy s ispol'zovaniem nizkopotencial'noj teplovoj jenerгии poverhnostnyh sloev zemli [Heat and cooling supply of buildings and structures using low-potential thermal energy of surface layers of the earth]. Moscow, Granica, 2006. 176 p.
11. Krotov V.M. Sovershenstvovanie rascheta vertikal'nyh gruntovyh teplo- obmennikov sistem teplosnabzhenija [Improvement of calculation of vertical ground heat exchangers for heat supply systems]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2009, vol. 15 (34), pp. 129–134.
12. Ponomarev, A.B., Kaloshina S.V. Ob inzhenerno-geologicheskikh usloviyakh stroitel'stva g. Permi [On the engineering and geological conditions of construction in Perm] *Problemy mehaniki gruntov i fundamentostroenija v slozhnyh gruntovyh usloviyakh: tr. mezhdunar. nauch.-tehn. konf., posvjashh. 50-letiju BashNIISTroja*. Ufa, 2006. Part 2, pp. 119-124.
13. Ponomarev A.B., Zaharov A.V. Ispol'zovanie geotermal'noj jenerгии dlja otoplenija i kondicionirovanija zdaniy [Use of geothermal energy for heating and air conditioning of buildings] *Vestnik*

*Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2010, vol. 17 (36), pp. 119-122.

14. Zaharov A.V., Ponomarev A.B. Analiz vzaimodejstviya jenergeticheskikh fundamentov v geologicheskikh i klimaticheskikh usloviyah g. Permi [Analysis of the interaction of energy foundations in the geological and climatic conditions of Perm]. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Prikladnaja jekologija. Urbanistika*, 2011, vol. 4, pp. 24-33.

15. Zaharov A.V. Primenenie geotermal'noj jenerгии grunta dlja otopenija zdaniy v klimaticheskikh i inzhenerno-geologicheskikh usloviyah Permskogo kraja [Application of geothermal energy of soil for heating of buildings in climatic and engineering-geological conditions of the Perm Territory]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 2010, vol. 2 (23). pp. 85-89.

Получено 21.08.2017

**A. Zakharov**

## **TEMPERATURE MONITORING OF SURFACE LAYERS OF THE EARTH IN THE CITY OF PERM**

In the article the results of temperature monitoring of the surface layers of the earth are presented. Monitoring has been carried out at two sites with engineering-geological conditions typical for the city of Perm.

The geological conditions of the first site are presented by clay soils, while the second site is mainly sandy. The first site is located in a dense urban development; the second is in an unbuilt area of Perm. The depth of the soil body on which the temperature was monitored was 19 m for the first site and 37 m for the second one.

Based on the monitoring results, soil temperature history for both sites was obtained. In the paper, average monthly temperatures of the soil body are plotted for both sites. The zone of fluctuations in the temperature of the soil body is defined depending on the temperature of the outdoor air. The depth of the zone of seasonal temperature fluctuations is 10 m.

With the help of monitoring it was determined that the temperature of the soil mass below 10m for the first site is +12 °C with a decrease in temperature to 10 °C at the depth of 19 m, and for the second site it is constant +6–7 °C down to the depth of 37 m.

A comparative analysis of the results of monitoring has been carried out and the main conclusions have been formulated.

**Keywords:** energy-efficient foundations, soil temperature, temperature field, temperature monitoring, low-potential energy of the soil.

**Захаров Александр Викторович** (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительное производство и геотехника», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: spstf@pstu.ru).

**Zakharov Alexander** (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Construction Technology and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: spstf@pstu.ru).