

DOI: 10.15593/2224-9826/2015.4.08

УДК 624.138.9

**А.В. Захаров, А.Б. Пономарев**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь, Россия**МОНИТОРИНГ ТЕМПЕРАТУРНЫХ  
ПОЛЕЙ ГРУНТОВ Г. ПЕРМИ**

Представлены результаты мониторинга температурных полей грунтов в инженерно-геологических и климатических условиях г. Перми. Результаты мониторинга приведены для двух экспериментальных площадок. Площадка 1 характеризуется плотной городской застройкой и относится к I типу грунтовых условий г. Перми (левобережная часть). Площадка 2 расположена на мало-застроенной территории города и относится ко II типу грунтовых условий г. Перми (правобережная часть). Приведено инженерно-геологическое строение экспериментальных площадок.

Для площадки 1 проведен анализ распределения температуры в грунтовом массиве за период мониторинга с 2009 по 2015 г. Дан анализ изменения температуры на протяжении нескольких годовых циклов мониторинга. Проведен сравнительный анализ температур грунтового массива на двух площадках.

По результатам сделаны выводы, что температура грунтового массива для площадок с глубины 7–8 м постоянная и составляет 12 и 6 °С для 1-й и 2-й площадки соответственно. Температуры грунтового массива для площадки 2 более низкие, чем площадки 1, в среднем на 4–6 °С. При этом с увеличением глубины разница температур уменьшается. Зафиксированная разница температурных режимов грунтовых массивов площадок, вероятно, объясняется наличием дополнительных источников тепла на площадке 1, в частности расположением площадки 1 в плотной городской застройке. При проектировании энергоэффективных фундаментов необходимо учитывать особенности расположения объекта, наличие окружающей застройки, инженерных коммуникаций.

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

**A.V. Zakharov, A.B. Ponomarev**Perm National Research Polytechnic University,  
Perm, Russian Federation**MONITORING SOIL TEMPERATURE FIELDS IN PERM**

The paper presents results of monitoring soil temperature fields in the geological and climatic conditions of the city of Perm. Monitoring results are presented for the two experimental areas. Area 1 is characterized by dense urban development and related to the type I soil conditions Perm (left-bank part of Perm). Area 2 is located on low-urban region of city and related to type II soil conditions Perm (right-bank part of Perm). Powered engineering and geological structure of the experimental areas.

For area 1 analysis of the temperature distribution in the soil massif in the monitored period from 2009 to 2015. The analysis of the changes in temperature over several annual cycles of monitoring. A comparative analysis of the soil mass temperatures at two areas.

As a result of the conclusions that the temperature of the soil mass for areas with a depth of 7–8 m constant at 12 and 6 °C for 1 and 2 areas, respectively. Temperatures of the soil mass to 2 area lower than the area 1, an average of 4–6 °C. With increasing depth of the temperature difference decreases. The fixed difference of temperature modes of soil mass areas, probably due to the presence of additional heat sources at the area 1, in particular location area 1 in a dense urban environment. When designing energy foundations to be considered especially the location of the object, the presence of surrounding buildings, engineering communications.

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

Технологии использования низкопотенциальной энергии грунта для отопления и кондиционирования зданий, такие как энергоэффективные фундаменты, широко применяются в европейских странах, странах ближнего зарубежья (Украина, Белоруссия) [1–5].

Одним из ключевых аспектов внедрения данных технологий является изученность температурного режима грунтовых оснований для конкретного региона.

С целью изучения температурного режима грунтовых оснований г. Перми кафедрой «Строительное производство и геотехника» ПНИПУ с 2009 г. проводится мониторинг. В настоящее время он выполняется на двух экспериментальных площадках.

*Площадка 1:* система мониторинга установлена на территории строительного факультета ПНИПУ в Свердловском районе г. Перми (левобережная часть г. Перми.). Мониторинг ведется непрерывно с ноября 2009 г. по настоящее время.

Площадка 1 характеризуется плотной городской застройкой. Время застройки более 50 лет. Расстояние от наблюдательной скважины до ближайшего здания около 3 м.

По результатам проведенных инженерно-геологических изысканий в геологическом отношении экспериментальная площадка 1 сложена четвертичными аллювиально-делювиальными глинистыми грунтами, в подошве с галькой до 60–70 % общей толщиной 11,6 м, перекрытыми толщей насыпных грунтов толщиной 6,0.

Коренными породами являются аргиллиты, вскрытые на глубине 17,6 м.

Насыпные грунты представлены суглинком – от тугопластичного до мягкопластичного в основании с примесью до 60–70 % строительного мусора (щебень, битый кирпич, стекло, дерево).

Четвертичные аллювиально-делювиальные отложения представлены в основном глиной – от твердой до тугопластичной, подстилае-

мой галечниковым грунтом с заполнителем твердой супесью (гравия и гальки до 60–70 %).

Инженерно-геологическая колонка приведена на рис. 1, а.

*Площадка 2:* система мониторинга установлена на территории Комплекса ПНИПУ в Ленинском районе г. Перми (правобережная часть города). Мониторинг ведется с августа 2015 г. по настоящее время. Расположена площадка 2 на малоэтажной территории города. Расстояние до ближайшего строения более 30 м.

По результатам архивных изысканий близлежащей территории, в геологическом отношении экспериментальная площадка 2 сложена четвертичными аллювиальными песчаными и глинистыми грунтами, в подошве с гравием до 25 % общей толщиной более 15 м.

Четвертичные аллювиальные отложения представлены песком мелкозернистым, глиной и суглинком – от мягкопластичной до текучей консистенции. С глубины 1,0 м по всей толще аллювиальных грунтов отмечены включения гравия с увеличением к основанию до 25 %. Коренные породы по результатам архивных изысканий встречены на глубине 17,0 м.

Инженерно-геологическая колонка приведена на рис. 1, б.

По результатам инженерно-геологических исследований площадки 1 и 2 отнесены соответственно к I и II типу грунтовых условий, характерных для г. Перми [6].

Мониторинг распределения температуры в грунте проводится путем установки термопреобразователей сопротивления (датчиков температуры) в грунтовом массиве. Установка термопреобразователей сопротивления производилась в предварительно пробуренную скважину под защитой обсадной трубы [7].

Для сбора получаемых данных используются регистраторы РТМ 59, предназначенные для измерения, длительной регистрации и контроля температуры и других неэлектрических величин (частоты, давления, расхода, уровня и др.), преобразованных в электрические сигналы силы, напряжения постоянного тока и активное сопротивление постоянного тока [7].

На площадке 1 глубина наблюдаемой толщи грунтов 19 м. Температурные датчики установлены с интервалом 1 м.

На площадке 2 глубина наблюдаемой толщи грунтов 37 м. Температурные датчики установлены с интервалом 2 м, на глубине до 3 м – с шагом 0,5 м.

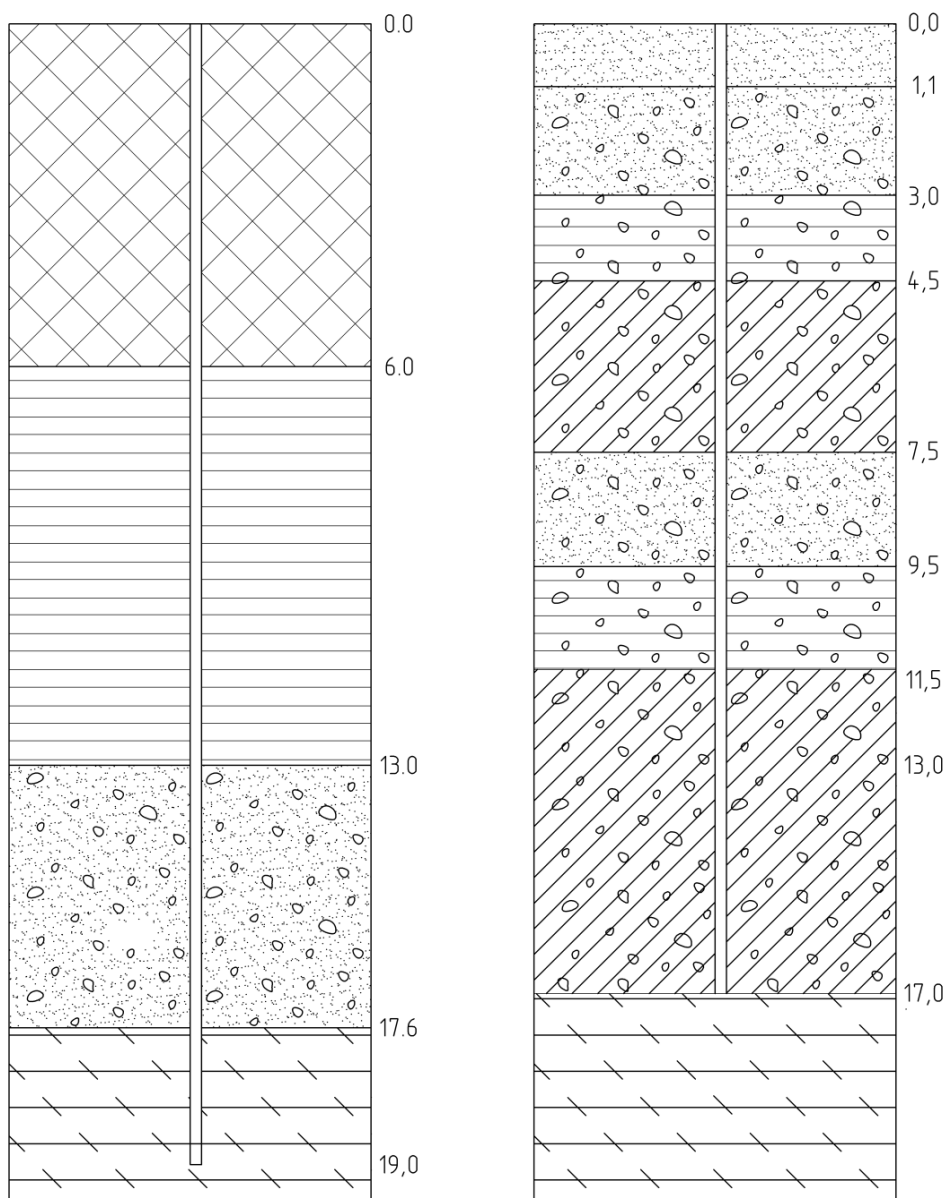


Рис. 1. Инженерно-геологические колонки экспериментальных площадок:  
а – площадка 1; б – площадка 2

Мониторинг температурных полей на площадке 1 проводится более 5 лет. Обобщенные результаты мониторинга (среднемесячные температуры) приведены на рис. 2.

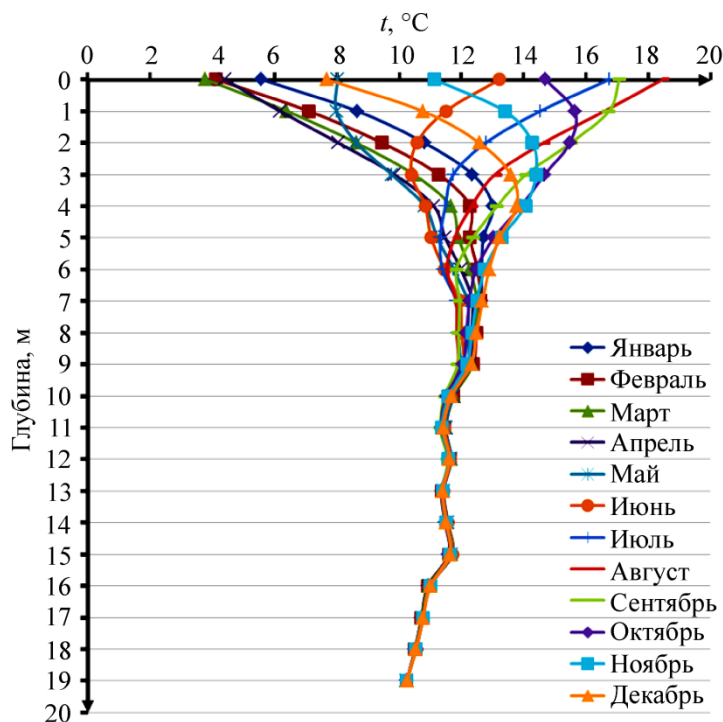


Рис. 2. Площадка 1. График среднемесячных температур по результатам мониторинга с 2009 по 2015 г.

Анализ графика показывает, что начиная с глубины 8–9 м температура грунтов практически не зависит от сезонного колебания температуры наружного воздуха и составляет около 12 °С, снижаясь до 10 °С к 19 м.

Для анализа изменения температурного режима грунтового основания на протяжении нескольких годовых циклов на рис. 3 приведены среднемесячные температуры для августа за период с 2009 по 2015 г.

Анализ график показывает, что начиная с глубины 8–9 м температуры грунтов на протяжении 6 лет мониторинга имеют постоянные значения (разница не более 1 °С). Температуры грунта августа 2015 г. объясняются аномально низкими температурами наружного воздуха в летний период 2015 г.

Осредненные температуры для августа за весь период мониторинга на площадке 1 приведены в таблице и на рис. 4.

Мониторинг температурных полей на площадке 2 проводится с августа 2015 г. К настоящему моменту обработаны данные мониторинга распределения температуры в грунтовом массиве за август, которые представлены в таблице и на рис. 4.

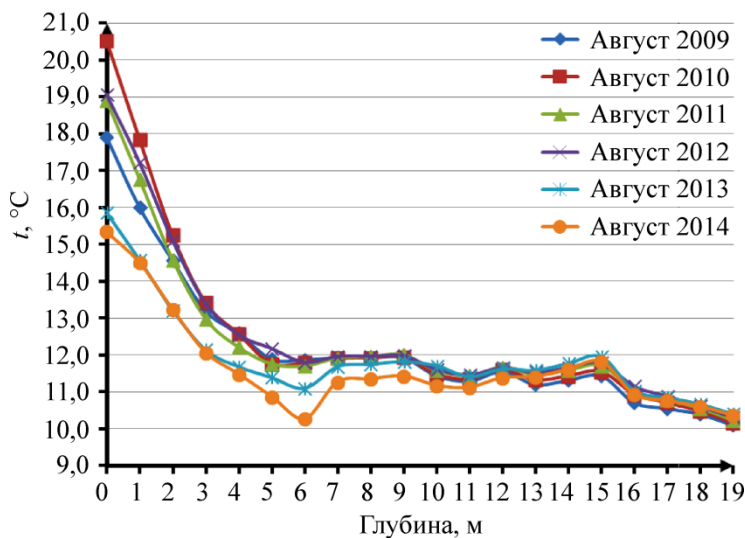


Рис. 3. Площадка 1. График среднемесячных температур августа по результатам мониторинга с 2009 по 2015 г.

Среднемесячные температуры грунтового массива для августа площадок 1 и 2

		Глубина, м																																				
Номер площадки		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37								
1	18,5	16,6	14,6	13,1	12,3	11,8	11,5	11,8	11,8	11,9	11,5	11,4	11,6	11,4	12,2	11,7	11,0	10,8	10,5	10,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
2	13	11,8	11,1	9,7	-	8,3	-	6,2	-	6,5	-	6,7	-	6,8	-	6,9	-	6,7	-	6,6	6,6	6,6	6,9	6,9	6,9	6,8	6,9	6,1	6,1	6,0								

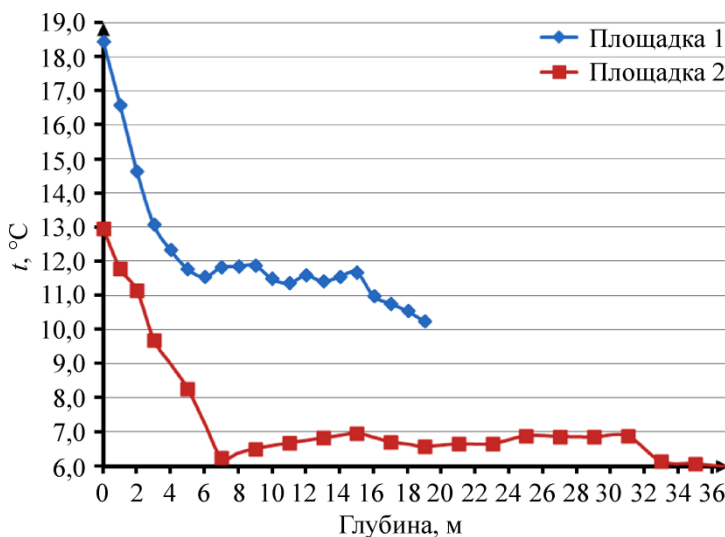


Рис. 4. График среднемесячных температур августа для площадок 1 и 2

Результаты мониторинга позволяют сделать следующие выводы:

1. Температура грунтового массива для площадки 2 с глубины 7 м постоянная и составляет 6–7 °С. Падение температуры на глубинах 7–37 м не зафиксировано, в отличие от площадки 1.

2. Температуры грунтового массива для площадки 2 более низкие, чем площадки 1, в среднем на 4–6 °С. При этом с увеличением глубины разница температур уменьшается.

3. Зафиксированная разница температурных режимов грунтовых массивов площадок, вероятно, объясняется наличием дополнительных источников тепла на площадке 1, в частности расположением площадки 1 в плотной городской застройке.

4. При проектировании энергоэффективных фундаментов необходимо учитывать особенности расположения объекта, наличие окружающей застройки, инженерных коммуникаций.

### Библиографический список

1. 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.

2. Пономарев А.Б., Захаров А.В. Использование геотермальной энергии для отопления и кондиционирования зданий // Вестник Волго-

градского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2010. – Вып. 17 (36). – С. 119–122.

3. Шаповал В.Г., Моркляник Б.В. Температурні поля в ґрунтових основах теплових насосів: моногр. – Дніпропетровськ: Пороги, 2011. – 123 с.

4. Brandl H., Adam D., Markiewicz R. Ground-Sourced Energy Wells for Heating and Cooling of Buildings // *Acta Geotechnica Slovenica*. – 2006. – Vol. 3, 2006/1. – P. 5–27.

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. – 2002.

6. Пономарев А.Б., Калошина 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.

7. Захаров А.В. Результаты мониторинга распределения температуры в грунтовом массиве // Современные технологии в строительстве. Теория и практика: материалы науч.-практ. конф. аспирантов, молодых ученых и студентов строит. фак. (г. Пермь, 20–21 мая 2009 г.) / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2009. – С. 263–266.

### References

1. Zakharov A.V. Primenenie geotermal'noi energii grunta dlia otopeniia zdaniia v klimaticheskikh i inzhenerno-geologicheskikh usloviiakh Permskogo kraia [The geothermal energy of the soil for heating buildings in climatic and geological conditions of Perm region]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 2010, no. 2 (23), pp. 85-89.

2. Ponomarev A.B., Zakharov A.V. Ispol'zovanie geotermal'noi energii dlia otopeniia i konditsionirovaniia zdaniia [The use of geothermal energy for heating and air conditioning of buildings]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriiia "Stroitel'stvo i arkhitektura"*, 2010, vol. 17 (36), pp. 119-122.



3. Shapoval V.G., Morklianik B.V. Temperaturni polia v rruntovikh osnovakh teplovikh nasosiv [The temperature field in the ground basis heat pump]. Dnipropetrovs'k: Porogi, 2011. 123 p.

4. 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.

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*. 2002.

6. Ponomarev A.B., Kaloshina S.V. Ob inzhenerno-geologicheskikh usloviakh stroitel'stva g. Permi [On the engineering and geological conditions of construction of the Perm city]. *Trudy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii, posviashchennoi 50-letiiu BashNIIstroia "Problemy mekhaniki gruntov i fundamentostroeniia v slozhnykh gruntovykh usloviakh"*. Ufa, 2006, vol. 2, pp. 119-124.

7. Zakharov A.V. Rezul'taty monitoringa raspredeleniia temperatury v gruntovom massive [The results of the monitoring of the temperature distribution in a soil array]. *Materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii aspirantov, molodykh uchenykh i studentov stroitel'nogo fakul'teta "Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriia i praktika"*. Perm': Permskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2009, pp. 263-266.

Получено 22.09.2015

### Об авторах

**Пономарев Андрей Будимирович** (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительное производство и геотехника» Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: spstf@pstu.ru).

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

### **About the authors**

**Andrei B. Ponomarev** (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Construction Technology and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: [spstf@pstu.ru](mailto:spstf@pstu.ru)).

**Alexander V. Zakharov** (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Construction Technology and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: [aspirant123@mail.ru](mailto:aspirant123@mail.ru)).