

DOI 10.15593/2409-5125/2015.04.05

УДК 624.138.9

**А.В. Захаров, А.Б. Пономарев**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ**

Представлены результаты исследований температурных полей грунтовых оснований для основных типов инженерно-геологических условий г. Перми. Результаты 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 малозастроенной 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 2008 по 2015 г., для площадки 2 – за период с августа по октябрь 2015 г. Проведен сравнительный анализ температур грунтового массива на двух площадках.

По результатам исследований сделаны выводы, что температура грунтового массива для площадок 1 и 2 с глубины 7–8 м постоянная и составляет 12 и 6 °С соответственно. Температуры грунтового массива для площадки 2 более низкие, чем для площадки 1, в среднем на 4–6 °С. При этом с увеличением глубины разница температур уменьшается.

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

Начиная с 2008 г. кафедрой СПГ ПНИПУ проводятся исследования температурных полей грунтовых оснований в г. Перми. Цель исследований – количественная оценка температурного режима грунтов для основных типов инженерно-геологических условий [1].

Количественная оценка температурного режима грунтового основания является одним из основных факторов, позволяющих внедрять технологии, основанные на использовании тепловой энергии грунта. В частности энергоэффективные фундаменты и подземные конструкции зданий и сооружений. Как правило, технологии, основанные на использовании тепловой энергии

грунта, применяются для отопления и кондиционирования зданий, реже – в целях обеспечения электроэнергией и горячим водоснабжением.

Данные технологии нашли широкое применение в европейских странах, странах ближнего зарубежья [2–10]. В России их внедрение имеет точечный характер и не нашло массового распространения [11–13].

Исследования температурных полей грунтовых оснований в г. Перми проводятся для двух основных типов инженерно-геологических условий, характерных для лево- и правобережной частей города. Исследования ведутся на двух площадках.

*Площадка 1:* система мониторинга установлена на территории строительного факультета ПНИПУ в Свердловском районе г. Перми (левобережная часть г. Перми). Мониторинг ведется непрерывно с декабря 2008 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, подстилаемой галечниковым грунтом с заполнителем твердой супесью (гравия и гальки до 60–70 %).

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

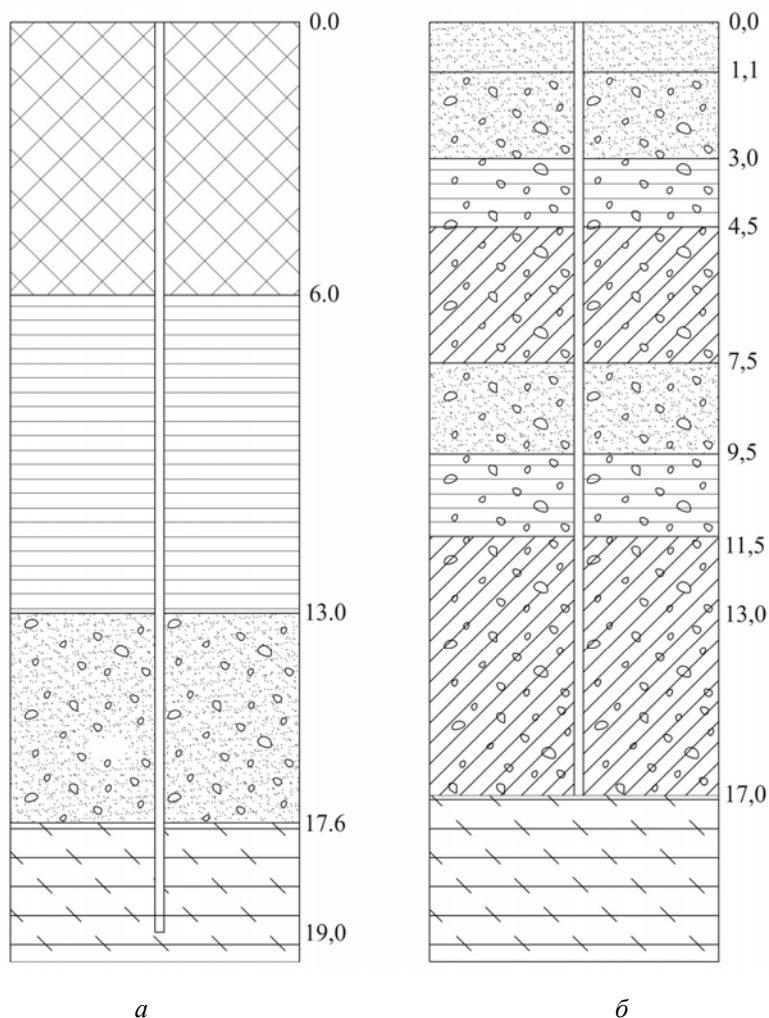


Рис. 1. Инженерно-геологические колонки экспериментальных площадок: *а* – площадки 1; *б* – площадки 2

*Площадка 2:* система мониторинга установлена на территории Комплекса ПНИПУ в Ленинском районе г. Перми (правобережная часть г. Перми). Мониторинг ведется с августа 2015 г. В настоящий момент получены данные по октябрь 2015 г.

Площадка 2 расположена 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 глинист-

тыми 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 типам инженерно-геологических условий, характерных для г. Перми [1].

Исследования распределения температурных полей в грунтовом массиве проводятся путем установки термопреобразователей сопротивления (датчиков температуры). Установка термопреобразователей сопротивления производилась в предварительно пробуренные скважины под защитой обсадной трубы [14, 15].

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 [14, 15].

Глубина наблюдаемой толщи грунтового массива на площадке 1 составляет 19 м. Температурные датчики установлены с интервалом 1 м.

Глубина наблюдаемой толщи грунтового массива на площадке 2 составляет 37 м. Температурные датчики установлены с интервалом 2 м, на глубине до 3 м – с шагом 0,5 м.

Мониторинг температурных полей на площадке 1 проводится более 5 лет. Обобщенные результаты мониторинга (среднемесячные температуры за период с декабря 2008 г. по октябрь 2015 г.) приведены на рис. 2.

Анализ графика показывает, что начиная с глубины 7–8 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.

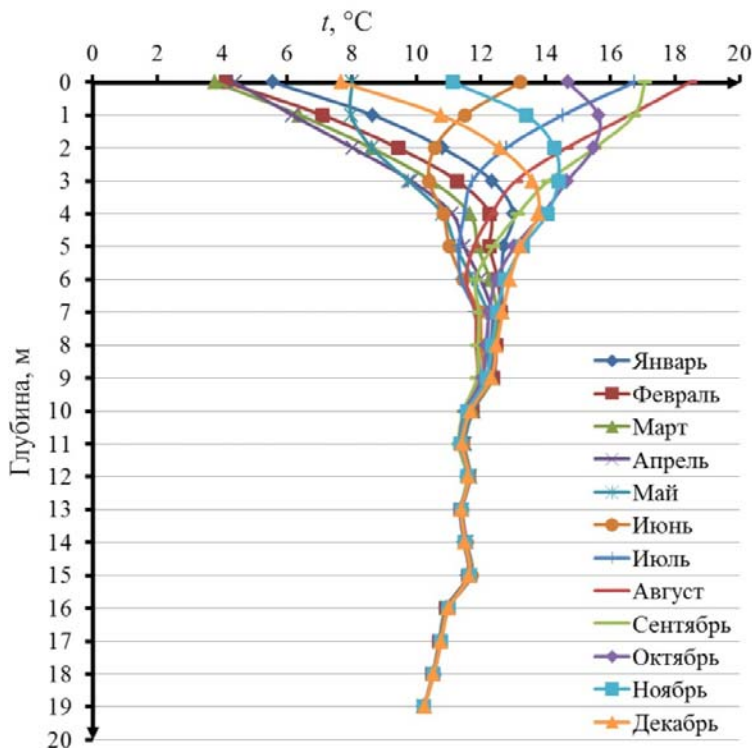


Рис. 2. Площадка 1. График среднемесячных температур по результатам мониторинга с 2008 по 2015 г.

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

Анализ графика показывает, что начиная с глубины 7–8 м температуры грунтов на протяжении 6 лет мониторинга имеют постоянные значения (разница не более 1 °C). Температуры грунта в сентябре 2015 г. объясняются аномально низкими температурами наружного воздуха в летний период 2015 г.

Среднемесячные температуры сентября за весь период мониторинга на площадке 2 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–октябрь. Результаты мониторинга (среднемесячные тем-

пературы) приведены на рис. 4. Для дальнейшего анализа в таблице и на рис. 5 представлены среднемесячные температуры грунтового массива за сентябрь 2015 г.

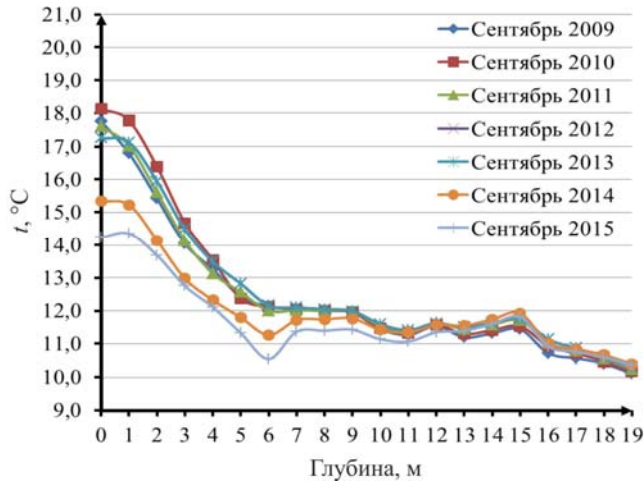


Рис. 3. Площадка 1. График среднемесячных температур сентября по результатам мониторинга с 2009 по 2015 г.

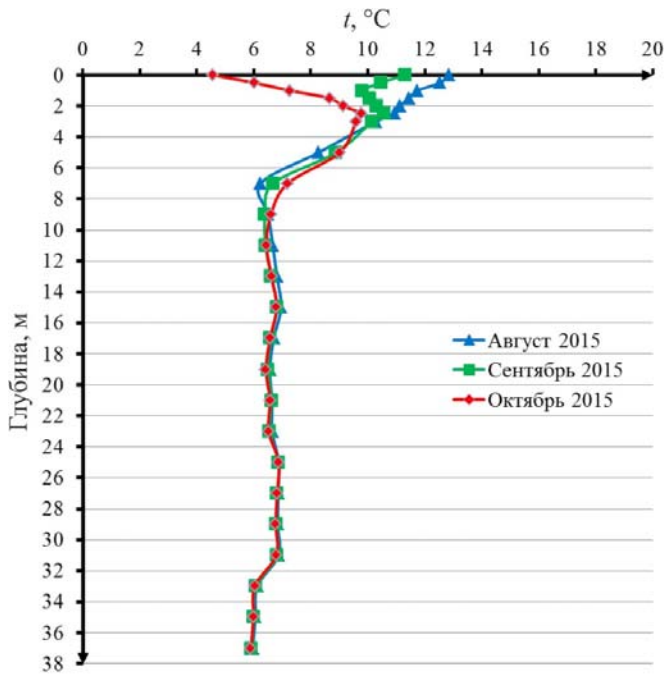


Рис. 4. Площадка 2. График среднемесячных температур по результатам мониторинга с августа по октябрь 2015 г.

Среднемесячные температуры грунтового массива  
в сентябре на площадках 1 и 2

Глубина, м	Температура грунта, °С		Глубина, м	Температура грунта, °С	
	на площадке 1	на площадке 2		на площадке 1	на площадке 2
0	16,8	11,3	15	11,7	6,81
1	16,5	9,81	16	11,0	–
2	15,3	10,3	17	10,8	6,59
3	13,9	10,1	18	10,6	–
4	13,0	–	19	10,3	6,5
5	12,3	8,89	21	–	6,6
6	11,8	–	23	–	6,5
7	11,9	6,67	25	–	6,9
8	11,9	–	27	–	6,8
9	11,9	6,4	29	–	6,8
10	11,5	–	31	–	6,8
11	11,3	6,41	33	–	6,1
12	11,6	–	35	–	6
13	11,4	6,61	37	–	5,9
14	11,6	–			

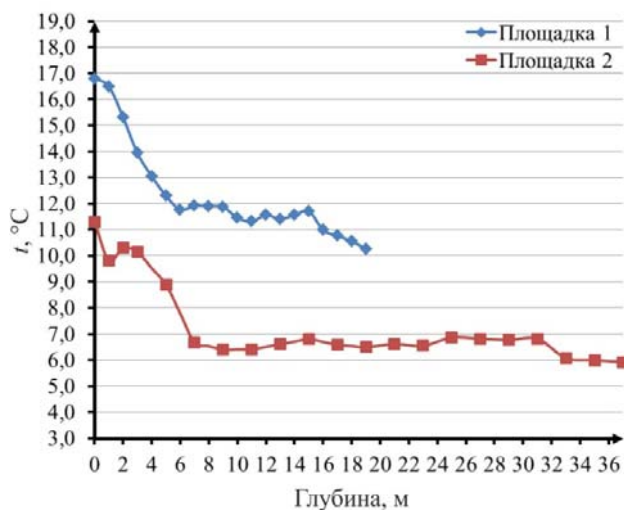


Рис. 5. График среднемесячных температур сентября для площадок 1 и 2

Результаты проводимых исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. Температура грунтового массива для площадок 1 и 2 с глубины 7–8 м постоянная и составляет 12 и 6 °С соответственно. Снижение 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 и подземных конструкций зданий необходимо учитывать особенности расположения объекта, наличие окружающей застройки, инженерных коммуникаций.

### Библиографический список

1. 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.

2. 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.

3. 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.

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

5. Brandl H. Energy piles and diaphragm walls for heat transfer from and into the ground // Proceedings of the 3rd International Geotechnical Seminar on Deep Foundations on Bored and Auger Piles. Ghent. Technical University. – Vienna, Austria, 1998. – P. 38–60.

6. 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.

7. Brandl H. Energy foundation and other thermo-active ground structures // Geotechnique. – 2006. – № 56. – P. 81–122.

8. 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.



9. 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.

10. Sanner B., Mands E., Sauer M.K. Larger geothermal heat pump plants in the central region of Germany // *Geothermics*. – 2003. – № 32. – P. 589–602.

11. Васильев Г.П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев земли: моногр. – М.: Граница, 2006. – 176 с.

12. 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.

13. Пономарев А.Б., Винников Ю.Л. Подземное строительство: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – 261 с.

14. 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.

15. 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.

## References

1. Ponomarev A.B., Kaloshina S.V. Ob inzhenerno-geologicheskikh usloviyakh stroitelstva g. Permi [Engineering-geological conditions of construction in Perm]. *Problemy mekhaniki gruntov i fundamentostroeniya v slozhnykh gruntovykh usloviyakh*. Ufa, 2006, vol. 2, pp. 119–124.

2. Zakharov A.V. Primenenie geotermalnoj energii grunta dlya otopeniya zdaniy v klimaticheskikh i inzhenerno-geologicheskikh usloviyakh Permskogo kraja [Application of geothermal energy of the ground for heating of buildings in climatic and engineering-geological conditions of the Perm region]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 2010, no. 2 (23), pp. 85–89.

3. Ponomarev A.B., Zakharov A.V. Ispolzovanie geotermalnoj energii dlya otopeniya i konditsionirovaniya zdaniy [Use of geothermal energy of soils for heating and air-conditioning of buildings]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura*, 2010, vyp. 17 (36), pp. 119–122.

4. Shapoval V.G., Morkljanik B.V. Temperaturni polya v gruntovykh osnovakh teplovikh nasosiv [The temperature field in the soil base heat pumps]. Dnipropetrovsk: Porogi, 2011. 123 p.

5. Brandl H. Energy piles and diaphragm walls for heat transfer from and into the ground. *Proceedings of the 3th International Geotechnical Seminar on Deep Foundations on Bored and Auger Piles*. Ghent. Technical University. Vienna, Austria, 1998, pp. 38–60.

6. 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.
7. Brandl H. Energy foundation and other thermo-active ground structures. *Geotechnique*, 2006, no. 56, pp. 81–122.
8. 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.
9. 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.
10. Sanner B., Mands E., Sauer M.K. Larger geothermal heat pump plants in the central region of Germany. *Geothermics*, 2003, no. 32, pp. 589–602.
11. Vasil'ev G.P. Teplokhladosnabzhenie zdaniy i sooruzhenij s ispolzovaniem nizkopotentsialnoj teplovoj energii poverkhnostnykh sloev zemli [Heat and cold buildings with low potential thermal energy of the surface layers of the earth]. Moscow: Granitsa, 2006. 176 p.
12. Krotov V.M. Sovershenstvovanie rascheta vertikalnykh gruntovykh teploobmennikov sistem teplosnabzheniya [Vertical ground heat exchangers of heat supply system calculation advance]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2009, vyp. 15 (34), pp. 129–134.
13. Ponomarev A.B., Vinnikov Ju.L. Podzemnoe stroitel'stvo [Underground construction]. Perm, 2014. 261 p.
14. Ponomarev A.B., Zakharov A.V. Ispolzovanie geotermalnoj energii dlya otopleniya i konditsionirovaniya zdaniy [Use of geothermal energy of soils for heating and air-conditioning of buildings]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2010, vyp. 17 (36), pp. 119–122.
15. Zakharov A.V., Ponomarev A.B. Analiz vzaimodejstviya energeticheskikh fundamentov v geologicheskikh i klimaticheskikh usloviyah g. Permi [The analysis of interaction of the energy foundations in geological and environmental conditions of Perm]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Urbanistika*, 2011, no. 4, pp. 24–33.

Получено 26.10.2015

**A. Zakharov, A. Ponomarev**

## **RESEARCH SOIL TEMPERATURE FIELDS IN PERM**

The paper presents results of research 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 2008 to 2015, for area 2 – period from august to october 2015. 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.

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

*Пономарев, Андрей Будимирович (Пермь, Россия) – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой строительного производства и геотехники, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: spstf@pstu.ru).*

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

*Ponomarev Andrej (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technics, Professor, Head of Department of Construction Technology and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 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).*