

basic results of researches, ways of development). *Zapiski Gornogo instituta. Innovatsionnoe razvitiye mineralno-syrevogo kompleksa = Proceedings of the Mining Institute. Innovation development of mineral-raw material complex*. 2013. Vol. 205. pp. 11–17.

6. Zubov V. P. Aleksey Alekseevich Borisov – lichnost, uchenyy, pedagog (Aleksey A. Borisov – a personality, a scientist, a teacher). *Zapiski Gornogo instituta. Innovatsionnoe razvitiye mineralno-syrevogo kompleksa = Proceedings of the Mining Institute. Innovation development of mineral-raw material complex*. 2013. Vol. 205. pp. 11–17.
7. Zubov V. P. Kafedra «Razrabotka mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh» (Chair «Mineral deposit mining»). *Glyukauf na russkom yazyke = Glückauf mining magazine* (Russian edition). 2006. No. 4. pp. 54–58.

8. Louchnikov V. N., Eremenko V. A., Sandy M. P. Ground support liners for underground mines: energy absorption capacities and costs. *Eurasian Mining*. 2014. No. 1. pp. 54–62.
9. Guide to open pit geotechnical considerations – HIF audit guideline. Department of Mines and Petroleum. Western Australia, 2009. 23 p.
10. Potvin Y., Giles G. The development of new high-energy absorption mesh. 10th AusIMM Underground Operators Conference, 14–16 April 2008, Launceston, Australia. pp. 89–94.
11. Geotechnical Engineering State of the Art and Practice. Keynote Lectures from GeoCongress 2012. Edited by K. Rollins, D. Zekkos. ASCE, 2012. Geotechnical Special Publication. pp. 226–832.
12. Gattinoni P., Pizzarotti E. M., Scesi L. *Engineering Geology for Underground Works*. Springer, 2014. 312 p.

УДК 622.620.9

МИРОВОЙ ОПЫТ ОСВОЕНИЯ ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ НЕДР

Э. И. БОГУСЛАВСКИЙ¹, проф., д-р техн. наук, boguslei@yandex.ru

¹ Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия

Широкое освоение геотермальной энергии недр является одним из перспективных направлений развития структуры мировой энергетики будущего. Геотермальная энергия обладает множеством преимуществ: огромный, пока еще в самой малой степени освоенный ресурсный потенциал; возможность использования в любое время суток и года; повсеместность распространения; отсутствие факторов негативного воздействия на окружающую среду; высокая экономическая эффективность. Существуют предположения, что основой будущего применения геотермальной энергии станут системы и технологии, использующие тепловую энергию таких слабопроницаемых пород, как Hot Dry Rock (сухая нагретая порода), Hot Wet Rock (влажная нагретая порода), Hot Fractured Rock (раздробленная нагретая порода) и др. В обобщенном виде их можно именовать как «Глубинные петрогеотермальные системы — ГПС». Однако в настоящее время эти технологии еще не вышли из стадии опытно-промышленной апробации [1].

Два основных направления использования геотермальной энергии — теплоснабжение (прямое использование) и выработка электроэнергии — уже представлены во многих странах мира; ее гигантский ресурсный потенциал подтвердил весьма достоверный источник — World Energy Assessment WEA 2000 совместно с департаментом ООН по экономическим и социальным вопросам и Мировым энергетическим советом, по оценке которого теплота недр существенно превосходит все другие виды возобновляемых источников энергии (табл. 1).

Зарубежные авторы (Muffler и Cataldi, 1978; Bertani, 2003; Fridleifsson и Ragnarsson, 2007; Fridleifsson, 2008 и др.) предлагали различные методы количественной оценки глобального по-

Автор представляет динамично развивающийся процесс использования геотермальной энергии недр как новый альтернативный сценарий развития мировой энергетики. Приведены основные технико-технологические параметры процессов приповерхностной добычи и использования геотермальной энергии. Показаны технико-экономические и экологические преимущества создания и использования теплоэнергетических мощностей в сравнении с углеводородной энергетикой.

Дана оценка современного состояния мировой геотермальной энергетики. Показаны основные предпосылки, стимулы и условия дальнейшего ускоренного развития геотермальных энергетических систем.

Ключевые слова: возобновляемые ресурсы, геотермальная энергия недр, добыча и использование, теплоэнергетические мощности, технико-технологические комплексы, теплонасосные установки, динамика развития, технико-экономические и экологические преимущества, стимулы и перспективы.

DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.01.04>

Таблица 1. Ресурсный потенциал возобновляемых источников энергии (WEA 2000)

Источник энергии	Мощность, млн ТДж/год
Геотермальная	5000
Солнечная	1575
Ветровая	640
Биомасса	276
Гидроэнергия	50
Общее количество	7541

тенциала геотермальной энергии. Эти оценки различались на порядки, так как базировались в основном на технологиях добычи и трансформации теплоты недр. По оценкам ведущих специали-

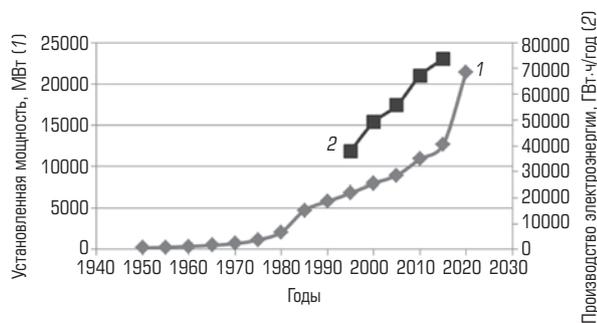


Рис. 1. Динамика установленной мощности геотермальных электростанций (1) и мирового производства электроэнергии (2) [5, 12]

Таблица 2. Рейтинг стран мира по установленной электрической мощности и абсолютному приросту электроэнергии

Установленная электрическая мощность в 2015 г.		Абсолютный прирост с 2010 по 2015 г.		
Страна	МВт	Страна	МВт	%
США	3450	Кения	392	194
Филиппины	1870	США	352	11
Индонезия	1340	Турция	306	336
Мексика	1017	Новая Зеландия	243	32
Новая Зеландия	1005	Индонезия	143	12

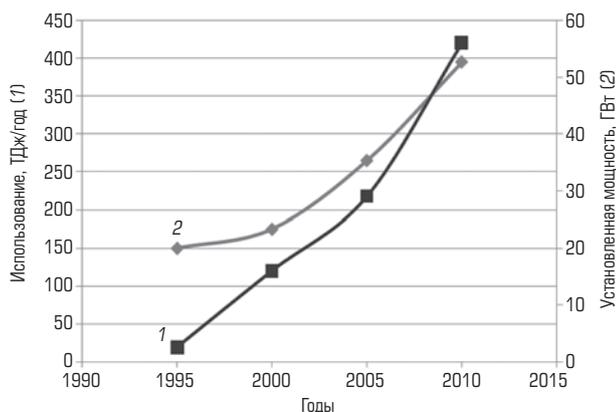


Рис. 2. Темпы роста установленной мощности (1) и годового использования (2) геотермальной энергии в мире (1995–2010 гг.) [14, 15]

стов, мировые прогнозные геотермальные ресурсы в 10 раз превышают суммарные ресурсы органического топлива. На территории России на доступных глубинах (до 5–6 км) они в 4–6 раз превышают ресурсы углеводородов и по расчетам Санкт-Петербургского горного университета, составляют для нужд теплоснабжения 57 трлн т у. т. [2–4]. Исследователи Массачусетского института технологий оценили геотермальные ресурсы только для США в 200 млрд ГДж, что в 2000 раз превышает ежегодную потребность страны в первичной электроэнергии.

В настоящее время развитие промышленной добычи и использование глубинной теплоты недр базируются на разработке

геотермальных месторождений с естественными коллекторами на глубинах от 1 до 5 км. Для того, чтобы ГПС стали в будущем основой геотермальной энергетики, необходимо осуществить масштабные инновационные экспериментальные и опытно-промышленные исследования и разработки [1], предпочтительно на основе широкого международного сотрудничества. Для этого национальные программы НИОКР должны быть обеспечены существенным дополнительным государственным финансированием.

Развитие геотермальной электроэнергетики в мире (с учетом прогноза до 2020 г.) характеризуется убедительным ростом установленной мощности электростанций и производства электроэнергии, в том числе за последние 40 лет (1980–2020 гг.) — 14-кратным (рис. 1) [5–9]. Рейтинг стран по установленной электрической мощности и абсолютному приросту электроэнергии с 2010 по 2015 г. отражает темпы развития геотермальной электроэнергетики за последних 5 лет (табл. 2).

Прямое назначение геотермальной энергии — непосредственное использование теплоты недр для различных потребностей человека, которое является одним из самых древних универсальных и распространенных форм освоения геотермальной энергии [4, 5, 10–15]. Ранняя история прямого применения геотермальной энергии свидетельствует об использовании теплоты недр в течение последних 2000 лет.

В мире, особенно в России [2, 3, 10–12, 16], главным направлением потребления геотермальной энергии является теплоснабжение жилищно-коммунального, сельскохозяйственного и промышленного секторов. По экономическим соображениям геотермальная электроэнергетика концентрируется в основном в регионах с повышенным геотермическим градиентом (выше 4 °С/100 м).

В настоящее время 82 страны используют напрямую геотермальную энергию [14]. Это определенный рост в сравнении с 78 странами в 2010 г., 72 — в 2005, 58 — в 2000 и 28 — в 1995. В конце 2014 г. установленная тепловая мощность прямого применения геотермальной энергии составила 70,3 ТВт — прирост на 45 % к данным 2010 г., т. е. в среднем по 7,7 % ежегодно. Это обеспечило потребление 588 тыс. ТДж/год (163 ТВт·ч/год) — прирост 38,7 % к 2010 г. Темпы роста установленной мощности и ежегодного теплотенергетического использования геотермальной энергии в 82 странах мира за 1995–2010 гг. были озвучены на Мировом геотермальном конгрессе-2015 (рис. 2) [8, 9, 15]. При этом данные по 15 наиболее успешным странам мира и России (табл. 3) свидетельствуют об определенном развитии этого нетрадиционного источника энергии в стране, однако явно недостаточном с учетом потребностей и территории.

Экономия традиционных энергоресурсов составила в 2015 г. 350 млн баррелей (52,5 млн т) нефти. При этом предотвращен выброс в атмосферу 46,6 млн т углерода и 148,2 млн. т углекислого газа. Более 2200 км скважин пробурено в 42 странах и около 20 млрд долл. США инвестировано в проекты 49 стран. В число стран с наибольшей установленной мощностью геотермальной энергии входят Китай, США, Швеция, Турция и Исландия: на них

приходится более 65 % всей мировой мощности. Однако, если учитывать факторы площади страны (ТДж/площадь) или ее населения (ТДж/население), то доминируют другие (меньшие) страны: соответственно Швейцария, Исландия, Нидерланды, Швеция и Венгрия; Исландия, Швеция, Финляндия, Новая Зеландия и Норвегия (табл. 4).

Быстро растут эти показатели в небольших странах, особенно скандинавских. На декабрь 2009 г. 36 стран сообщили о том, что имеют геотермальные установки мощностью более 100 МВт. 70,9 % установленных мощностей и 55,3 % использованной геотермальной энергии в 2015 г. (против 13 и 21,4 % в 1995 г.) обеспечивается системами с тепловыми насосами. Число стран, создающих геотермальные установки с тепловыми насосами, растет: в 2000 г. их было 26, в 2005 г. — 33, в 2010 г. — 43. Мощность установок варьируется — от 5,5 кВт для жилого сектора до 150 кВт для коммерческих нужд. Число установок в мире мощностью около 12 кВт на 2010 г. составляло примерно 2,94 млн — в 4 раза больше, чем в 2000 и в 2 раза, чем в 2005 г. В США мощность большинства установок соответствует максимальной нагрузке, рассчитанной для охлаждения помещений, в меньшей мере — для отопления. В среднем это соответствует 2000 ч работы в год при полной нагрузке (коэффициент использования мощности 0,23). В Европе мощность большинства установок рассчитана на отопительную нагрузку. Часто они спроектированы так, чтобы обеспечивать базовую нагрузку, а максимум мощности покрывать органическим топливом. В результате эти установки могут работать до 6000 ч в год при полной нагрузке (коэффициент использования мощности 0,68); это особенно характерно для скандинавских стран (табл. 5).

Добыча и использование приповерхностной геотермальной энергии с применением теплонасосных установок (ТНУ) — одно из наиболее быстро развивающихся направлений применения возобновляемой энергии в мире [4, 17]. В последние 15 лет ежегодный прирост теплоэнергетических мощностей в 30 странах мира составляет 10–12 %. Главное преимущество этого источника энергии состоит в том, что используются температуры обычного грунта, грунтовых вод или пород до глубин 200–300 м с температурой от 5 до 30 °С, которые доступны во всех странах мира. ТНУ утвердились как существенный участник в новом и альтернативном сценарии развития мировой энергетики. Геотермальные установки с тепловыми насосами (ГТН) признаны как весьма эффективный источник возобновляемой энергии; кроме того признается их важная роль в борьбе с парниковым эффектом.

Таблица 3. Рейтинг 15 ведущих стран по теплоэнергетическому использованию геотермальной энергии (2015 г.)

Страна	Установленная мощность, МВт	Теплоэнергетическое использование		Козффициент использования
		ТДж/год	ГВт·ч/год	
1. Китай	17870	174352	48435	0,31
2. США	17416	75862	21075	0,14
3. Швеция	5600	51920	14423	0,29
4. Турция	2886	45126	12536	0,5
5. Исландия	2040	26717	7422	0,42
6. Япония	2186	26130	7259	0,38
7. Германия	2849	19531	5426	0,22
8. Финляндия	1560	18000	5000	0,37
9. Франция	2347	15867	4408	0,21
10. Швейцария	1733	11837	3288	0,22
11. Канада	1467	11615	3227	0,25
12. Венгрия	906	10268	2852	0,36
13. Италия	1014	8682	2412	0,27
14. Новая Зеландия	487	8621	2395	0,56
15. Норвегия	1300	8260	2295	0,2
.....				
19. Россия	308	6144	1707	0,63
Общая сумма	70329	587786	163287	0,27

Геотермальные насосы могут обеспечить теплоснабжение для преобладающих условий в любой стране или ее регионах, определяя местную экономическую жизнеспособность и нормы роста производства. Многие страны уже имеют значительное число этих установок, обеспечивающих рост использования приповерхностных геотермальных ресурсов. Большинство их находится в Северной Америке, Европе и Китае. Число стран с ТНУ увеличилось с 26 в 2000 г. до 33 в 2005; 43 в 2010 и 48 в 2015. Число установок мощностью до 12 кВт (типичные для домов в США и Западной Европе) составляет приблизительно 4,16 млн.

Геотермальные насосы используют относительно постоянную температуру поверхностных слоев земли, с учетом термотрансформации, достаточной для отопления, кондиционирования и горячего водоснабжения жилых домов, школ, муниципальных, правительственных, коммерческих и других зданий. Сравнительно небольшой расход электроэнергии для работы компрессора теплово-

Таблица 4. Ранжирование стран по прямому использованию геотермальных ресурсов (2015 г.) [15]

Использование (ТДж/год)	ТДж/площадь	ТДж/население	МВт/площадь	МВт/население
Китай	Швейцария	Исландия	Швейцария	Исландия
США	Исландия	Швеция	Исландия	Швеция
Швеция	Нидерланды	Финляндия	Нидерланды	Финляндия
Турция	Швеция	Новая Зеландия	Швеция	Норвегия
Исландия	Венгрия	Норвегия	Австрия	Швейцария

Таблица 5. Основные направления теплотехнического использования тепловой энергии недр (1995–2015 гг.) [13, 15]

Направления использования	Теплотехническое использование, ТДж/год				
	2015 г.	2010 г.	2005 г.	2000 г.	1995 г.
Геотермальные тепловые насосы	325028	200149	87503	23275	14617
Обогрев помещений	88222	63025	55256	42926	38230
Обогрев оранжерей	26662	23264	20661	17864	15742
Нагревание водоемов, аквакультуры	11958	11521	10976	11733	13493
Сельскохозяйственная сушка	2030	1635	2013	1038	1124
Промышленное использование	10453	11745	10868	10220	10120
Купание и плавание	119381	109410	83018	79546	15742
Охлаждение помещений, таяние снега	2600	2126	2032	1063	1124
Другие	1452	955	1045	3034	2249
Общее количество	587786	423830	273372	190699	112441

го насоса обеспечивает производство теплоты, в три-четыре раза превышающей этот расход. Тепловые насосы поднимают температурный потенциал от низкого к более высокому уровню: чем выше подъем температуры, тем больше расход электроэнергии. Эффективность ГТН характеризуется коэффициентом преобразования энергии (КПЭ) — отношением энергии продукции к входной энергии (для компрессора) и изменяется от 3 до 6 для существующего оборудования. Таким образом КПЭ = 4 показывает, что единица электрической энергии произвела четыре единицы теплоты.

Главными стимулами быстрого рыночного развития геотермальных систем в мире являются:

- их размещение по децентрализованному принципу, чтобы соответствовать индивидуальным потребностям жителей; дорогостоящая канализация теплоты, присущая традиционным системам теплоснабжения города или района, исключается;
- относительно свободный выбор места размещения системы (рядом или даже под зданием) и потребность в небольшой рабочей площади внутри здания;

- отсутствие опасности и рисков при транспортировании, хранении и использовании энергоносителя (в отличие от нефти, газа, угля);

- отсутствие рисков загрязнений грунтовых и пластовых вод;
- сопоставимая с обычными теплоснабжающими системами инвестиционная стоимость экологически чистой геотермальной энергии и низкие эксплуатационные расходы.

Заключение

Промышленное освоение технико-технологических комплексов добычи и использования теплоты недр при огромных ее ресурсах способно обеспечить высокую эффективность теплоснабжения и кондиционирования. Это всё увереннее признается мировым сообществом как альтернатива органическому топливу, и во многих странах может обеспечить весьма существенную его экономиию, как и сокращение эмиссии CO₂. Вполне обоснованно ожидается интенсивно возрастающее число действующих геотермальных систем в большинстве стран мира.

Библиографический список

1. Genter A., Cuenot N., Goerke X., Melchert B., Sanjuan B., Scheiber J. Status of the soultz geothermal project during exploitation between 2010 and 2012 // Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, January 30 — February 1. 2012. SGP-TR-194.
2. Богуславский Э. И. Техничко-экономическая оценка освоения тепловых ресурсов недр. — Л.: ЛГУ, 1984. — 168 с.
3. Boguslavsky E. I., Mikheyev A. I. Methods and Recommendations for Investment Substantiation of Geothermal Power Plant Developments // Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25–29 April 2010.
4. Litvinenko V. S., Boguslavsky E. I., Khakhaev B. N. Deep Seated and Near-Surface Geothermal Resources of Russia // Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25–29 April 2010.
5. Фортв В. Е., Попель О. С. Энергетика в современном мире. — Долгопрудный : Интеллект. 2011. — 168 с.
6. Хуторской М. Д. Состояние и проблемы развития мировой и отечественной геотермальной энергетики // Материалы Конф. по физико-химической геотехнологии. — М.: МГТУ, 2013.
7. Rybach L. Status and Prospects of Geothermal Energy // Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25–29 April 2010.
8. Home R. N. World Outlook for Geothermal Energy 2013 // Proceedings, World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19–25 April 2015.
9. Bertani R. Geothermal Power Generation in the World 2010–2014 : Update Report // Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19–25 April 2015.
10. Дегтярев К. Тепло Земли. Геотермальная энергия // «Наука и жизнь». 2013. № 9.
11. Попель О. С. Возобновляемые источники энергии в регионах Российской Федерации: проблемы и перспективы // ЭНЕРГОСОВЕТ : [электронный журнал]. 2011. № 5(18). С. 22.
12. Филиппов С. П., Дильман М. Д., Ионов М. С. Перспективы применения тепловых насосов в России // ЭНЕРГОСОВЕТ : [электронный журнал]. 2011. № 5(18). С. 31.
13. Lund J. W., Derek H., Freeston K., Tonya L., Boyd A. Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review // Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25–29 April 2010.
14. Lund J. W., Freeston D. H., Boyd T. L. Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 : Worldwide Review // Geothermics. 2011. Vol. 40. P. 159–180.
15. Lund J. W., Boyd T. L. Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 : Worldwide Review // Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19–25 April 2015.
16. Svalava V., Povarov K. Geothermal Energy Use in Russia. Country Update for 2010–2015 // Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19–25 April 2015.
17. Xiaoning H., Anderson B. J. Low-Temperature Geothermal Resources for District Heating: An Energy-Economic Model of West Virginia University Case Study // Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, January 30 February 1, 2012, SGP-TR-194. 

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2016, № 1, pp. 19–23

DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.01.04>**World experience of geothermal engineering****Information about author**

E. I. Boguslavsky¹, Professor, Doctor of Engineering Sciences,
boguslei@yandex.ru

¹ National Mineral Resources University (Mining University), Saint-Petersburg, Russia

Abstract

Dynamic extraction and use of geothermal energy is presented as a new alternative scenario of development in the world power engineering. The essential benefits of geothermal energy are: almost inexhaustible resources; feasibility of continuous extraction and use; ubiquity; environmental friendliness; comparatively high economic efficiency. Two basic areas of use of geothermal energy – heat supply (direct use) and electric power generation—are already actualized in more than 80 countries of the world; by estimates of the World Energy Council, the huge resource potential of geothermal energy makes more than 5000 million terajoules a year. In 2015 saving of conventional energy resources has made 350 million barrels of oil (52.5 Mt). Air emission of 46.6 Mt of carbon and 148.2 Mt of carbonic gas has thus been prevented. The countries with the greatest ascertained resources of geothermal energy include China, USA, Sweden, Turkey and Iceland with the share of more than 65% of the entire world's geothermal energy capacity.

Extraction and use of subsurface geothermal energy with heat pump installations is one of the most rapidly advancing lines of renewable energy utilization in the world. In the recent 15 years the annual increment in the heat-power engineering capacities has made 10–12% in 30 countries of the world. A prime advantage of this energy source is its availability in soil, groundwater and rock mass at a depth from 200 to 300 m and a temperature from 5 to 30 °C.

The article presents the basic technical – technological parameters of subsurface geothermal energy extraction and use. The technical-and-economic and ecological benefits of generation and utilization of geothermal energy as against hydrocarbon energy are shown.

The author assesses the state-of-the-art of the world geothermal power engineering, pointing at the most advanced countries based on the geothermal energy capacities and use, including geothermal energy per capita and unit area of territory. The key prerequisites, impetuses and conditions of further accelerated development in the field of geothermal energy systems are described.

Keywords: Renewable resources, geothermal energy, extraction and use, heat power engineering capacities, technical–technological complexes, thermal pump installations, development dynamics, technical-and-economic and ecological benefits, impetuses and prospects.

References

- Genter A., Cuenot N., Goerke X., Melchert B., Sanjuan B., Scheiber J. Status of the soultz geothermal project during exploitation between 2010 and 2012. Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, January 30 February 1, 2012, SGP-TR-194.
- Boguslavskiy E. I. *Tekhniko-ekonomicheskaya otsenka osvoeniya teplovykh resursov neдр* (Technical-economic assessment of mastering of thermal resources of the subsoils). Leningrad : Leningrad State University, 1984. 168 p.
- Boguslavsky E. I., Mikheyev A.I. Methods and Recommendations for Investment Substantiation of Geothermal Power Plant Developments. Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-29 April 2010.
- Litvinenko V. S., Boguslavsky E. I., Khakhaev B. N. Deep Seated and Near-Surface Geothermal Resources of Russia. Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25–29 April 2010.
- Fortov V. E., Popel O. S. *Energetika v sovremennom mire* (Energetics in the modern world). Dolgoprudnyy : Intellekt, 2011. 168 p.
- Khutorskoy M. D. Sostoyanie i problemy razvitiya mirovoy i otechestvennoy geotermalnoy energetiki (State and problems of development of global and Russian geothermal energetics). *Materialy Konferentsii po fiziko-khimicheskoy geotekhnologii* (Materials of physical-chemical geotechnology conference). Moscow : N. E. Bauman Moscow State Technical University, 2013.
- Rybach L. Status and Prospects of Geothermal Energy. Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25–29 April 2010.
- Horne R. N. World Outlook for Geothermal Energy 2013. Proceedings, World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19–25 April 2015.
- Bertani R. Geothermal Power Generation in the World 2010–2014 : Update Report. Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19–25 April 2015.
- Degtyarev K. Teplo Zemli. Geotermalnaya energiya (Earth heat. Geothermal energy). *Nauka i zhizn = Science and Life*. 2013. No. 9.
- Popel O. S. Vozobnovlyаемые источники energii v regionakh Rossiyskoy Federatsii: problemy i perspektivy (Renewable energy sources in the regions of Russian Federation: problems and prospects). *Elektronnyy zhurnal «ENERGOSOVET» = Electronic journal «ENERGOSOVET»*. 2011. No. 5(18). p. 22.
- Filippov S. P., Dilman M. D., Ionov M. S. Perspektivy primeneniya teplovykh nasosov v Rossii (Prospects of application of thermal pumps in Russia). *Elektronnyy zhurnal «ENERGOSOVET» = Electronic journal «ENERGOSOVET»*. 2011. No. 5 (18). p. 31.
- Lund J. W., Derek H., Freeston K, Tonya L. Boyd A. Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review. Proceedings World Geothermal Congress 2010. Bali, Indonesia, 25–29 April 2010.
- Lund J. W., Freeston D. H., Boyd T. L. Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 : Worldwide Review. *Geothermics*. 2011. Vol. 40. pp. 159–180.
- Lund J. W., Boyd T. L. Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 : Worldwide Review. Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19–25 April 2015.
- Svalova V., Povarov K. Geothermal Energy Use in Russia. Country Update for 2010-2015. Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19–25 April 2015.
- Xiaoning H., Anderson B. J. Low-Temperature Geothermal Resources for District Heating: An Energy-Economic Model of West Virginia University Case Study. Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, January 30 February 1, 2012, SGP-TR-194.