

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Веселко Алексей Юрьевич, аспирант, младший научный сотрудник, Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, 683002, Российская Федерация, Камчатский край, г. Петропавловск-Камчатский, Северо-Восточное шоссе 30, а / я 56, e-mail: ecocogy@yandex.ru

В настоящее время геотермальные электростанции работают в десятках стран мира. Главенствует позиция, что геотермальные электростанции экологически безопасны, но на некоторые экологические аспекты необходимо обратить пристальное внимание при проектировании новых геотермальных объектов. Представлена краткая информация о технологиях производства геотермальной электроэнергии. Изучены основные экологические аспекты геотермальной энергетики: химическое загрязнение, тепловое загрязнение, шум, геологические процессы и другие. Важным моментом является сброс геотермального теплоносителя в водоемы и на земную поверхность. В геотермальном теплоносителе содержатся такие химические элементы и соединения, как Na, Ca, Li, As, Pb, CO₂, H₃BO₃, H₂S.

Ключевые слова: геотермальное месторождение, геотермальная энергия, загрязнение окружающей среды, геотермальный флюид, парниковые газы, теплоноситель, химическое загрязнение, углекислый газ, экологические аспекты, установленная мощность

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF GEOTHERMAL ENERGY

Veselko Alexey Yu., post-graduate student, Junior Researcher, Scientific Research Geotechnological Center Far Eastern Branch of Russian Academy Science, 30, p.o. box 56 Severo-Vostochnoe shosse, Petropavlovsk-Kamchatsky, Kamchatka Krai, 683002, Russian Federation, e-mail: ecocogy@yandex.ru

Currently, geothermal power plants operate in dozens of countries. The dominant position is that geothermal power plants are environmentally safe, but some environmental aspects need to be carefully considered in the future when designing new geothermal facilities. Brief information about geothermal power generation technologies is presented. The main ecological aspects of geothermal energy are studied: chemical pollution, thermal pollution, noise, geological processes. An important point is the discharge of geothermal coolant into water bodies and on the earth's surface. The geothermal coolant contains such chemical elements and compounds as Na, Ca, Li, As, Pb, CO₂, H₃BO₃, H₂S.

Keywords: geothermal field, geothermal energy, environmental pollution, geothermal fluid, greenhouse gases, coolant, chemical pollution, carbon dioxide, environmental aspects, installed capacity

Геотермальная энергетика – это направление энергетики, где выработка тепловой и электрической энергии осуществляется за счет энергии, содержащейся в недрах Земли.

Существует три основные технологии производства геотермальной энергии, применяемые на геотермальных электростанциях:

1. *Электростанции, использующие сухой пар в качестве теплоносителя (прямой тип).* Данный тип установок используется при высокой температуре (4200° C) с преобладанием в геотермальном резервуаре сухого пара. Электростанции, работающие на сухом паре, достаточно редки. Единственные известные геотермальные месторождения находятся в Лардерелло (Италия) и Гейзерс (США) [1]. Из скважин получают сухой или слегка перегретый пар. Пар из нескольких скважин передается по трубопроводу на электростанцию, где используется непосредственно в турбинах импульсно-реакционного типа.

2. *Электростанции, использующие водяной пар с дальнейшим разделением фаз (не прямой тип).* В этом случае флюид представляет собой двухфазную жидкость. Традиционный подход заключается в разделении фаз. На устье скважины давление низкое (0,5–1,0 МПа), жидкая и паровая фаза существенно различаются по плотности. Все это способствует эффективно-му отделению пара от воды в сепараторе.

3. *Бинарные установки.* При данном типе геотермальных установок геотермальная вода (пар) не вступает в непосредственный контакт с турбиной, а при помощи теплообменника нагревает вторую рабочую жидкость с более низкой температурой кипения. Тепло геотермального теплоносителя выпаривает вторую рабочую жидкость, пары которой и приводят турбину в движение.

В последние годы использование геотермальной энергии возрастает. По данным последнего международного геотермального конгресса, в 2015 г. установленная мощность прямого использования геотермальной энергии составляла 70329 МВт, что на 45 % больше данных 2010 г. [2].

Количество стран, использующих геотермальную энергию, на 2015 г. составляет 82. Для сравнения: в 2010 г. таких стран было 78, в 2000 г. – 58, в 1995 г. – 28 [2].

Страны лидеры по годовому потреблению геотермальной энергии (ГВт × ч / г): Китай (48434), США (21074), Швеция (14423), Турция (12536), Япония (7258), Исландия (7422), Германия (5425), Финляндия (5000), Франция (4407).

В связи с ростом установленной мощности геотермальной выработки в мире особое внимание следует уделять экологическим аспектам.

При проведении геологоразведочных и строительных работ нарушается целостность поверхностного покрова. Прокладываются дороги и прочие коммуникации, что в свою очередь приводит к изменению естественной среды обитания живых организмов. Средняя величина земельных нарушений в ходе строительства электростанции мощностью в 50 МВт оценивается в 0,85 км² [3]. Кроме того, существует проблема исчезновения естественных геотермальных проявлений (гейзеры, фумаролы). Происходит это вследствие изменения гидростатического уровня водоносных горизонтов.

В процессе работы геотермального комплекса извлекают большой объем теплоносителя, что приводит к проседаниям земной поверхности. Проседание (опускание) – медленное явление, но по прошествии нескольких лет приводит к обвалам, оползням и прочим катастрофическим явлениям. Причина проседаний кроется в чрезмерном извлечении теплоносителя из геотермального резервуара. Ярким примером является опускание поверхности в районе геотермальной системы Вайракей (Новая Зеландия) [4]. В результате этого за годы эксплуатации геотермального комплекса были отмечены повреждения скважин, линий электропередач, производственных зданий и транспортных коммуникаций. Также изъятие большого количества теплоносителя может спровоцировать микросейсмичность в районе разработки геотермальных месторождений.

Важным экологическим аспектом является выброс в окружающую среду веществ, неблагоприятно влияющих на состояние окружающей среды в регионе геотермальной разработки. Химические вещества попадают в окружающую среду путем сброса жидкой фазы теплоносителя в водоемы либо вместе с газообразными выбросами.

Особое внимание стоит уделять выбрасываемым парниковым газам, таким как углекислый газ или метан. Содержание углекислого газа в выбросе достигает 80 % [5]. Однако выбросы парниковых газов происходят и при естественных условиях в районах геотермальных месторождений. Актуальный вопрос, насколько увеличиваются выбросы парниковых газов при разработке месторождений, требует дальнейшего изучения. На данном вопросе подробнее останавливались Bertani R., Arnannsson H., Fridriksson T. [6–8]. При всем вышесказанном нужно помнить, что если мы рассматриваем геотермальную электростанцию (ГеоЭС) как альтернативу тепловых станциям, работающим на угле, то она является более экологичным вариантом.

Среди других газообразных веществ, входящих в состав геотермального теплоносителя, стоит отметить H₂S, CH₄, CO₂. Кроме того, приводятся сведения о следовых включениях Hg, NH₃, Rb, V.

Основными компонентами в составе жидкой фазы теплоносителя являются натрий, хлор, бикарбонаты, сульфаты, кремнезем, кальций и калий. В геотермальном теплоносителе содержится бор, сера, литий, алюминий, свинец и другие элементы.

В жидкой фазе геотермального теплоносителя могут присутствовать высокие концентрации бора, лития, аммиака, мышьяка и ртути. Высокое содержание бора наблюдается в Лардерелло, Италия и Кизилдере, Турция, Паужетка, Россия [10]. Загрязнение ртутью в непосредственной близости от Лардерелло отмечается в течение многих десятилетий, содержание ртути доходило до 1,8 мкг/г. Повышенные концентрации ртути в регионе отмечены в поверхностных водах и атмосфере, в растительности и рыбе [11].

В теплоносителе содержится дисперсный кремнезем, который распространяется ветром на большие расстояния. Территории, подверженные влиянию кремнезема, находятся недалеко от ГеоЭС, но в случае близкого расположения населенных объектов требует контроля.

Тепловое загрязнение является важным экологическим моментом. В выработке электроэнергии, так или иначе, участвует горячая (нагретая в процессе) вода. Сброс ее в водотоки или

на поверхность повлечет за собой изменение теплового режима водоемов и местных условий обитания, что в свою очередь нанесет существенное воздействие на экосистему. Возможным путем решения проблемы является создание искусственных водоемов-отстойников для снижения температуры воды до постоянной температуры либо создание замкнутой системы циркуляции воды.

На стадии строительства и пусконаладочных работ важным экологическим аспектом является шумовое загрязнение. Основные источники шума во время работы геотермального комплекса – это сепараторы при скважинах и турбинное (машинное) отделение геотермальной электростанции.

Рассмотренные в статье экологические аспекты требуют дальнейшего изучения. В результате деятельности геотермальных электростанций водоемы получают наряду с тепловым загрязнением. Загрязнение такими веществами, как литий, бор, мышьяк. Данные вещества воздействуют на водные организмы, тем самым нанося вред всей экосистеме региона. Учитывая состав геотермального теплоносителя, в НИГТЦ ДВО РАН разработана схема очистки отработанного геотермального теплоносителя от лития и бора [12].

Список литературы

1. Manzella A. Environmental and social aspects of geothermal energy in Italy / A. Manzella // *Geothermics*. – 2018. – Vol. 72. – P. 232–248.
2. Lund J. Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review, Iceland / J. Lund, T. Boyd // *Geothermal training programme, Reykjavik, Australia, World Geothermal Congress*. – 2015. – Vol. 1. – P. 1–31.
3. Bayer P. Review on life cycle environmental effects of geothermal power generation / P. Bayer, L. Rybach, P. Blum, R. Brauchle // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2013. – Vol. 26. – P. 446–463.
4. Fukutina K. The Waikato regional geothermal resource / K. Fukutina // *Waikato Regional Council Technical Report*. – 2012. – Vol. 10. – 28 p.
5. Junfeng L. Environmental impact of geothermal development in the is-afjardarbaerarea, Iceland / L. Junfeng // *Training Programme Reykjavik, Iceland*. – 2004. – Vol. 9. – P. 160–182.
6. Bertani R. Geothermal power generating plant CO₂ emission survey / R. Bertani, I. Thain // *International Geothermal Association (IGA) News*. – 2002. – Vol. 3. – P. 1–3.
7. Dereinda F. CO₂ emissions from the Krafla Geothermal Area, Iceland / F. Dereinda, H. Arnannsson // *Proceedings of the World Geothermal Congress*. – Bali, Indonesia, 2010.
8. Fridriksson T. CO₂ emissions and heat flow through soil, fumaroles, and steam heated mud pools at the Reykjane geothermal area, SW Iceland / T. Fridriksson, B. R. Kristjánsson, H. Árnannsson, E. Margrétardóttir, S. Ólafsdóttir, G. Chiodini // *Geochemistry*. – 2006. – Vol. 21. – P. 1551–1569.
9. Веселко А. Ю. Проблемы защиты окружающей среды при разработке геотермальных месторождений / А. Ю. Веселко // Горный информационно-аналитический бюллетень «Камчатка – 2». – 2015. – Специальный выпуск № 63. – С. 275–280.
10. Pashkevich R. I. On environmental aspects of geothermal development / R. I. Pashkevich // *Geothermal Resources Council*. – September 29 – October 2, 1996. – Vol. 20. – P. 241–243.
11. Arnorsson S. Geological Society, special Publications, 2004, pp. 297–336.
12. Попов Г. В. Технологическая схема извлечения бора и лития из геотермальных теплоносителей / Г. В. Попов // Горный информационно-аналитический бюллетень «Камчатка-6». – 2017. – № 12 (специальный выпуск 35). – С. 359–367.

References

1. Manzella A. Environmental and social aspects of geothermal energy in Italy. *Geothermics*, 2018, vol. 72, pp. 232–248.
2. Lund J., Boyd T. Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review, Iceland. *Geothermal training programme, Reykjavik, Australia, World Geothermal Congress*, 2015, vol. 1, pp. 1–31.
3. Bayer P., Rybach L., Blum P., Brauchler R. Review on life cycle environmental effects of geothermal power generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, vol. 26, pp. 446–463.
4. Fukutina K. The Waikato regional geothermal resource. *Waikato Regional Council Technical Report*, 2012, vol. 10. 28 p.
5. Junfeng L. Environmental impact of geothermal development in the is-afjardarbaerarea, Iceland. *Training Programme Reykjavik, Iceland*, 2004, vol. 9, pp. 160–182.
6. Bertani R., Thain I. Geothermal power generating plant CO₂ emission survey. *International Geothermal Association (IGA) News*, 2002, vol 3, pp. 1–3.
7. Dereinda F., Arnannsson H. CO₂ emissions from the Krafla Geothermal Area, Iceland. *Proceedings of the World Geothermal Congress Bali, Indonesia*, 2010.

8. Fridriksson T., Kristjánsson B. R., Ármannsson H., Margrétardóttir E., Ólafsdóttir S., Chiodini G. CO₂ emissions and heat flow through soil, fumaroles, and steam heated mud pools at the Reykjane geothermal area, SW Iceland. *Geochemistry*, 2006; vol. 21, pp. 1551–1569.
9. Veselko A. Yu. Problemy zashchity okruzhayushchey sredy pri razrabotke geotermalnykh mestorozhdeniy [Problems of environmental protection in the development of geothermal deposits]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten «Kamchatka – 2»* [Mining Information and Analytical Bulletin "Kamchatka – 2"], 2015, special issue no. 63, pp. 275–280.
10. Pashkevich R. I. On environmental aspects of geothermal development. *Geothermal Resources Council*, September 29 – October 2 1996, vol. 20, pp. 241–243.
11. Arnorsson S. *Geological Society*, special Publications, 2004, pp. 297–336.
12. Popov G. V. Tekhnologicheskaya skhema izvlecheniya bora i litiya iz geotermalnykh teplonositeley [Technological scheme for the extraction of boron and lithium from geothermal fluids]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten «Kamchatka – 6»* [Mining Information and Analytical Bulletin "Kamchatka – 6"], 2017, no. 12, special issue 35, pp. 359–367.

ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Курмангалиева Аида Робертовна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Астраханский государственный университет, 414000, Российская Федерация, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: kraida@yandex.ru

Астраханская область была выбрана как наиболее благоприятная для реализации пилотного проекта строительства сети солнечных электростанций, ввиду высокой солнечной активности и инсоляции. Под размещение одной электростанции мощностью 15 МВт выделяется участок площадью в среднем 30 га, 4–5 га которого остается неиспользованным на перспективу. Объекты альтернативной энергетики несут максимальную нагрузку на окружающую среду в период строительства, что требует обязательного проведения экологического мониторинга. По результатам научно-исследовательской и практической работы автора анализируются виды воздействия на окружающую среду, проблемы, возникшие при строительстве солнечных электростанций в Наримановском районе Астраханской области, обосновываются мероприятия, обеспечивающие эффективную и безопасную эксплуатацию объектов.

Ключевые слова: фотоэлектрический модуль, сумматор, инверторная станция, литостраты, урбаноземы, гидроизогипсы, гидроизоляция

ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL LIMITATIONS SOLAR POWER STATION

Kurmangaliyeva Aida R., C.Sc. in Geology and Mineralogy, Associate Professor, Astrakhan State University, 1 Shaumyan sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation, e-mail: kraida@yandex.ru

Astrakhan region was chosen as favorable for the implementation of a pilot project for the construction of a network of solar power station: the cause is high solar activity and insolation. One power plant with a capacity of 15 MW is planned to be located on an area of an average of 30 hectares, 4–5 hectares of which will remain unused for the future. Objects of alternative energy bear the maximum load on the environment during the construction period, therefore environmental monitoring is required. According to the results of research and practical work the author analyzes the impacts on the environment, the problems encountered in the construction of solar power plants in the Narimanov district of the Astrakhan region, justified measures to ensure the effective and safe operation of the facilities.

Keywords: photovoltaic module, adder, inverter station, lithostrates, urbanozem, hydroisogypsum, waterproofing

Функциональным назначением солнечной электростанции (СЭС) является производство электрической энергии преобразованием энергии солнечного излучения подстанции с последующей поставкой на оптовый рынок электроэнергии и мощности (ОРЭМ) Астраханской области. Пилотный проект реализуют на территории ООО «Эко Энерджи Рус».

Решение принималось в соответствии со схемой и программой развития ЕЭС России на 2018–2024 гг., схемой и программой развития электроэнергетики Астраханской области на 2019–2023 гг.

СЭС преобразовывает энергию видимого спектра солнечного излучения в электрический ток постоянного напряжения при помощи кремниевых фотоэлектрических модулей (ФЭМ), устанавливаемых на специальных опорных конструкциях – базовых столах. Базовые столы размещаются на участке рядами на расстоянии, обоснованным расчетом, от 7,6 до 12,0 м. Фундаменты базовых столов приняты либо свайными, либо на металлических стойках. Угол наклона моду-