

УДК 519.876.5+536.246+550.832.6+528.71

**Р.И. Пашкевич, Д.В. Мамаев**

**КОРРЕЛЯЦИЯ ДАННЫХ ТЕРМОМЕТРИЧЕСКОЙ  
СЪЕМКИ, ОБРАБОТКИ КОСМИЧЕСКОГО СНИМКА  
И ЧИСЛЕННОГО ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ АВАЧИНСКОЙ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ  
СИСТЕМЫ**

*Представлены результаты сопоставления данных термометрической съемки, обработки космического снимка и численного термодинамического моделирования Авачинской геотермальной системы. Выполнялось ее термогидродинамическое моделирование.*

*Ключевые слова: Авачинская геотермальная система, термогидродинамическая модель, термометрическая съемка, космический снимок.*

---

**В** рамках выполнения научно-исследовательских работ по изучению тепловых ресурсов Авачинской геотермальной системы [1] выполнялась термометрическая съемка [3]. Для проведения работ было пробурено и обустроено 25 скважин глубиной 10 м [1, 2, 7].

Для количественной оценки тепловых ресурсов Авачинской геотермальной системы выполнялось ее термогидродинамическое моделирование [4]. В [6] представлены результаты обработки тепловизионных данных космического снимка участка Авачинской геотермальной системы. Целью данной работы является краткое представление результатов сопоставления данных термометрической съемки, обработки космического снимка и численного термодинамического моделирования Авачинской геотермальной системы.

В [4] представлены результаты термогидродинамического моделирования в трех различных вариантах. На рис. 1–3 (см. стр. 315–317) представлены результаты сравнения данных моделирования для трех вариантов термогидродинамической модели [4, 5], данных термометрической съемки [3] и данных обработки космических снимков [6]. Из рис. 3 следует, что в варианте 3 (на нижних блоках модели в зоне разлома заданы источники теплоносителя с суммарным расходом 15 кг/с и температурой 370°C, соответствующей температуре насыщения при гидростатическом давлении [4]) калибровку модели можно считать удовлетворительной. В вариантах 2 (тепловой поток на нижних блоках в зоне разлома 240 мВт/м<sup>2</sup>, в 2

раза выше, чем на остальной площади [4]) и 1 (немодифицированная модель, исходный вариант [5]), согласование данных моделирования с натурными данными хуже.

Таким образом, можно сделать вывод о корреляции характера распределения градиента температуры по данным наземной термометрической съемки, градиента теплового излучения по данным обработки космического снимка и расчетного градиента температуры по данным термогидродинамического моделирования.

Представленные выводы являются предварительными и качественными. Задачей будущих работ является установление количественной меры корреляции данных.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пашкевич Р.И. и др. Отчет о научно-исследовательской работе: «Исследование геотермальных ресурсов Авачинской группы вулканов, полуостров Камчатка, Камчатский край». Фонды НИГТЦ ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 2015, в 3-х тт., – 787 с.

2. Пашкевич Р.И., Горбач В.А., Павлов К.А., Иодис В.А. Способ обустройства скважин для термометрической съемки геотермальных систем // ГИАБ № 11, Специальный выпуск № 63 «Камчатка-2». – 2015. – С. 40–54.

3. Пашкевич Р.И., Горбач В.А., Павлов К.А., Шадрин А.В. Термометрическая съемка участка Авачинской геотермальной системы // ГИАБ № 11, Специальный выпуск № 63 «Камчатка-2». – 2015. – С. 24–34.

4. Пашкевич Р.И., Мамаев Д.В., Павлов К.А. Термогидродинамическое моделирование Авачинской геотермальной системы с учетом данных термометрии и космических снимков // ГИАБ № 11, Специальный выпуск № 63 «Камчатка-2». – 2015. – С. 63–78.

5. Пашкевич Р.И., Павлов К.А. Термогидродинамическое моделирование Авачинской магматогенной геотермальной системы // ГИАБ, Специальный выпуск «Камчатка». 2014. – С. 192–204.

6. Пашкевич Р.И., Югин В.В., Агачев В.А. Результаты обработки тепловизионных данных космического снимка участка Авачинской геотермальной системы // ГИАБ № 11, Специальный выпуск № 63 «Камчатка-2». – 2015. – С. 35–39.

7. Пашкевич Р.И. Опыт проведения буровых работ для термометрической съемки на Авачинской геотермальной системе // ГИАБ № 11, Специальный выпуск № 63 «Камчатка-2». – 2015. – С. 121–123. **ГИАБ**

---

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Пашкевич Роман Игнатьевич* – доктор технических наук, директор, pashkevich@kscnet.ru,

*Мамаев Дмитрий Викторович* – научный сотрудник, nigtc@kscnet.ru, Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук.

**CORRELATION OF THERMOMETRIC SURVEY DATA, PROCESSED  
LANDSAT IMAGE AND NUMERICAL THERMOHYDRODYNAMIC MODEL-  
ING OF THE AVACHA GEOTHERMAL SYSTEM**

*Pashkevich R.I.*, Doctor of Technical Sciences, Director, pashkevich@kscnet.ru, Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Russia,

*Mamaev D.V.*, Research Scientist, nigtc@kscnet.ru, Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Russia.

---

*The results of data matching thermometric shooting, processing of satellite imagery and numerical thermodynamic modeling of Avacha geothermal system. Execute it thermodynamic modeling.*

*Keywords: Avacha geothermal system, thermohydrodynamic model, thermometric survey, landsat image.*

**REFERENCES**

1. Pashkevich R.I. i dr. *Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote: «Issledovanie geotermal'nykh resursov Avachinskoj grupy vulkanov, poluostrov Kamchatka, Kamchatskij kraj* (Report about scientifically-research work: Investigation of geothermal resources of the Avachinsky group of volcanoes, Kamchatka Peninsula, Kamchatka Krai). Fondy NIGTC DVO RAN, Petropavlovsk-Kamchatskij, 2015, v 3-kh tt., 787 p.
2. Pashkevich R.I., Gorbach V.A., Pavlov K.A., Iodis V.A. *Sposob obustrojstva skvazhin dlja termometricheskoj s'emki geotermal'nykh sistem* (Method of arrangement of wells for geothermal heat shooting systems) // GIAB No 11, «Kamchatka-2» (special issue No 63). 2015. pp. 40–54.
3. Pashkevich R.I., Gorbach V.A., Pavlov K.A., Shadrin A.V. *Termometrineskaja s'emka uchastka Avachinskoj geotermal'noj sistemy* (Thermometric survey of the area of the Avacha geothermal system) // GIAB No 11, «Kamchatka-2» (special issue No 63). 2015. pp. 24–34.
4. Pashkevich R.I., Mamaev D.V., Pavlov K.A. *Termogidrodinamicheskoe modelirovanie Avachinskoj geotermal'noj sistemy s uchetom dannyx termometrii i kosmicheskikh snimkov* (Thermohydrodynamic modeling of Avachinsky geothermal system based on the data of thermometry and satellite images) // GIAB No 11, «Kamchatka-2» (special issue No 63). 2015. pp. 63–78.
5. Pashkevich R.I., Pavlov K.A. *Termogidrodinamicheskoe modelirovanie Avachinskoj magmatogennoj geotermal'noj sistemy* (Thermohydrodynamic modeling of Avachinsky magmatogene geothermal system) // GIAB, Special issue «Kamchatka». 2014. pp.192–204.
6. Pashkevich R.I., Jugin V.V., Agachev V.A. *Rezultaty obrabotki teplovizionnykh dannyx kosmicheskogo snimka uchastka Avachinskoj geotermal'noj sistemy* (Results of processing thermal imaging data the satellite image of the area of the Avacha geothermal system) // GIAB No 11, «Kamchatka-2» (special issue No 63). 2015. pp. 35–39.
7. Pashkevich R.I. *Opyt provedenija burovykh rabot dlja termometrineskoj s'emki na Avachinskoj geotermal'noj sisteme* (Experience of carrying out drilling operations for thermometric shooting at Avachinsky geothermal system) // GIAB No 11, «Kamchatka-2» (special issue No 63). 2015. pp. 121–123.

**Р.И. Пашкевич, А.В. Шадрин**

**КОРРЕЛЯЦИЯ ТЕРМОМЕТРИЧЕСКИХ,  
ТЕПЛОВИЗИОННЫХ И МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ  
ДАННЫХ ДЛЯ УЧАСТКА АВАЧИНСКОЙ  
ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**

*Представлены результаты сравнения данных термометрической съемки, аудиомагнитотеллурических исследований и тепловизионных данных обработки космического снимка для участка Авачинской геотермальной системы.*

*Ключевые слова: Авачинская геотермальная система, термометрическая съемка, космический снимок, аудиомагнитотеллурическое зондирование.*

---

**Д**ля работ по изучению тепловых ресурсов Авачинской геотермальной системы [1] в 2015 г. выполнялась термометрическая съемка [3] по сети пробуренных и обустроенных 25 скважин глубиной 10 м [1, 2, 5]. В [1, 4] представлены результаты обработки тепловизионных данных космического снимка участка Авачинской геотермальной системы. В 2011 г. проводилось аудиомагнитотеллурическое зондирование (АМТЗ) участка [6]. Целью работы является краткое представление результатов сопоставления вышеуказанных данных термометрической съемки, обработки космического снимка и трехмерной обработки данных АМТЗ.

Предварительно было выполнено трехмерное интерполирование массивов данных АМТЗ участка Авачинской геотермальной системы, полученных в 2011 г. [6]. Для интерполяции значений АМТЗ, использовался программный комплекс Tecplot. При построении трехмерной модели, данные были ограничены по вертикальной оси в диапазоне от -2000 до +100 м. Использовались прямоугольная сетка 70x100x70 ячеек по осям XYZ и алгоритм взвешивания обратно расстоянию (inverse distance weighted, IDW). В методе интерполяции IDW происходит взвешивание точек таким образом, что влияние известного значения точки затухает с увеличением расстояния до неизвестной точки, значение которой надо определить. Были уста-

новлены следующие параметры IDW: минимальное расстояние, на котором происходит взвешивание исходных данных при вычислении точек назначения (Minimum distance) - 0; значение специального коэффициента алгоритма IDW (Exponent) — 8; метод для определения того, какие точки с данными рассматриваются для каждой точки назначения (Point Selection) — All, использовался весь ряд данных при назначении узлов. Общее количество точек, использованных при интерполяции поля удельного сопротивления составил 559 шт.

На рис. 1 и 2 (см. стр. 318–319) представлено сопоставление трех типов данных, полученных разными методами. Из рисунков можно сделать вывод о качественном соответствии полей температуры в термометрических скважинах, градиента теплового излучения по данным обработки космоснимка и удельных сопротивлений по данным АМТЗ. Зоны локализации в плане повышенной температуры в термометрических скважинах соответствуют зонам пониженного градиента теплового излучения по данным космоснимка и зонам пониженного удельного сопротивления по данным АМТЗ.

Представленные выводы являются предварительными и качественными. Задачей будущих работ является установление количественной меры корреляции данных.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пашкевич Р.И. и др. Отчет о научно-исследовательской работе: «Исследование геотермальных ресурсов Авачинской группы вулканов, полуостровов Камчатка, Камчатский край». Фонды НИГТЦ ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 2015, в 3-х тт., – 787 с.
2. Пашкевич Р.И., Горбач В.А., Павлов К.А., Иодис В.А. Способ обустройства скважин для термометрической съемки геотермальных систем // ГИАБ № 11, Специальный выпуск № 63 «Камчатка-2». – 2015. – С. 40–54.
3. Пашкевич Р.И., Горбач В.А., Павлов К.А., Шадрин А.В. Термометрическая съемка участка Авачинской геотермальной системы // ГИАБ № 11, Специальный выпуск № 63 «Камчатка-2». – 2015. – С. 24–34.
4. Пашкевич Р.И., Югин В.В., Агачев В.А. Результаты обработки телевизионных данных космического снимка участка Авачинской геотермальной системы // ГИАБ № 11, Специальный выпуск № 63 «Камчатка-2». – 2015. – С. 35–39.
5. Пашкевич Р.И. Опыт проведения буровых работ для термометрической съемки на Авачинской геотермальной системе // ГИАБ № 11, Специальный выпуск № 63 «Камчатка-2». – 2015. – С. 121–123.

6. Пашкевич Р.И., Песоцкий Д.Г., Балыков А.А., Мамаев Д.В. Магнито-теллурические исследования в южном секторе Авачинской геотермальной системы // ГИАБ, Специальный выпуск «Камчатка». 2014. – С.47–53. **ГИАБ**

#### **КОРОТКО ОБ АВТОРАХ**

---

*Пашкевич Роман Игнатьевич* – доктор технических наук, директор, pashkevich@kscnet.ru,

*Шадрин Александр Витальевич* – младший научный сотрудник, nigtc@kscnet.ru, Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук.



---

UDC 519.876.5+536.246+550.832.6+528.71

#### **CORRELATION OF THERMOMETRIC, THERMAL IMAGING AND MAGNETOTELLURIC DATA FOR THE AREA OF THE AVACHA GEOTHERMAL SYSTEM**

*Pashkevich R.I.*, Doctor of Technical Sciences, Director, pashkevich@kscnet.ru, Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Russia,

*Shadrin A.V.*, Junior Research Scientist, nigtc@kscnet.ru  
Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Russia.

---

*The results of the comparison of thermometric data, photography, audio-magneto-metallurgical studies, thermal imaging and data processing of satellite imagery for the area of the Avacha geothermal system are presented.*

*Key words: Avacha geothermal system, thermohydrodynamic model, thermometric survey, landsat image.*

#### **REFERENCES**

1. Pashkevich R.I. i dr. *Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote: «Issledovanie geotermal'nykh resursov Avachinskoj gruppy vulkanov, poluostrov Kamchatka, Kamchatskij kraj»* (Report on research work: «Investigation of geothermal resources of the Avachinsky group of volcanoes, Kamchatka Peninsula, Kamchatka Krai»). Fondy NIGTC DVO RAN, Petropavlovsk-Kamchatskij, 2015, v 3-kh tt., 787 p.

2. Pashkevich R.I., Gorbach V.A., Pavlov K.A., Iodis V.A. *Sposob obustrojstva skvazhin dlja termometricheskoj s'emki geotermal'nykh sistem* (Method of arrangement of wells for geothermal heat shooting systems) // GИAB No 11, «Kamchatka-2» (special issue No 63). 2015. pp. 40–54.

3. Pashkevich R.I., Gorbach V.A., Pavlov K.A., Shadrin A.V. *Termometricheskaja s'emka uchastka Avachinskoj geotermal'noj sistemy* (Thermometric survey of the area of the Avacha geothermal system) // GIAB No 11, «Kamchatka-2» (special issue No 63). 2015. pp. 24–34.
4. Pashkevich R.I., Jugin V.V., Agachev V.A. *Rezultaty obrabotki teplovizionnykh dannykh kosmicheskogo snimka uchastka Avachinskoj geotermal'noj sistemy* (Results of processing thermal imaging data the satellite image of the area of the Avacha geothermal system) // GIAB No 11, «Kamchatka-2» (special issue No 63). 2015. pp. 35–39.
5. Pashkevich R.I. *Opyt provedenija burovykh rabot dlja termometricheskoy s'emki na Avachinskoj geotermal'noj sisteme* (Experience of carrying out drilling operations for thermometric shooting at Avachinsky geothermal system) // GIAB No 11, «Kamchatka-2» (special issue No 63). 2015. pp. 121–123.
6. Pashkevich R.I., Pesockij D.G., Balykov A.A., Mamaev D.V. *Magnitotelluricheskie issledovanija v juzhnom sektore Avachinskoj geotermal'noj sistemy* (Magnetotelluric studies in the southern sector of the Avachinsky geothermal system) // GIAB, Special issue «Kamchatka». 2014. pp.47–53. 47–53.