

УДК 550.35:550.367

## К ОЦЕНКЕ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ДАГЕСТАНА

**О. А. Маммаев, Б. О. Маммаев**

Институт проблем геотермии ДНЦ РАН  
Институт геологии ДНЦ РАН

Проводится оценка теплоэнергетического потенциала осадочной толщи геотермальных месторождений Дагестана.

The assessment of heat power potential of sedimentary strata of geothermal deposits of Daghestan is carried out.

Ключевые слова: геотермальная энергия; градиент; тепловой поток; теплоемкость; термальные воды; горные породы.

Keywords: geothermal energy; gradient; thermal stream; thermal capacity; thermal waters; rocks.

По данным Международного энергетического агентства (МЭА), по состоянию на 2002 г. доля возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в мировом энергетическом балансе составляла 13.6%. В составе возобновляемых источников энергии по своим потенциальным ресурсам и темпам освоения значительное место занимает геотермальная энергия недр Земли. Интерес специалистов к ВИЭ и, в частности, к геотермальной энергии в связи с постоянным повышением цен на нефть и газ и прогнозируемым истощением этих традиционных углеводородных источников в последние годы неуклонно растет. Если не считать гидроэнергию рек, в настоящее время (по данным МЭА 2000 г.) использование геотермальной энергии составляет около 60% неорганических ВИЭ.

На всемирных геотермальных конгрессах (Япония, 2000 г., Турция, 2005 г.) отмечалось, что использование геотермального тепла Земли в XXI в. достигнет 30% в мировом энергетическом балансе, а по самым оптимистическим прогнозам – даже 80% [1, 2].

Основными преимуществами геотермальной энергии при ее комплексном и рациональном использовании в народном хозяйстве являются: практическая неисчерпаемость и возобновляемость, экологическая чистота и доступность.

К странам, где относительно широко используется геотермальная энергия для производства электро- и теплоэнергии, относятся Филиппины, Сальвадор, Никарагуа, Исландия, новая Зеландия, Индонезия и др.

Под использованием геотермальной энергии до последнего времени подразумевалось, прежде всего, освоение природных гидротермальных ресурсов. И большинство исследовательских работ в этой области было направлено на изучение формирования и оценки запасов геотермальных пластовых вод. Однако гидротермальные ресурсы (хотя природные воды являются очень хорошими теплоносителями с большой удельной теплоемкостью) составляют только небольшую часть потенциальной геотермальной энергии земной коры. Под геотермальными ресурсами в настоящее время понимается избыточная по отношению к температуре нейтрального слоя тепловая энергия, заключенная в твердой, жидкой и газообразной составляющих земной коры на глубинах, доступных современной технике бурения и освоения [3].

Между тем геотермальное тепло, аккумулированное горными породами земной коры, при среднем геотермическом градиенте (3°C на 100 м), плотности пород 2.6 т/м<sup>3</sup> и теплоемкости 0.25 ккал/кг·град. до глубины 8 км в пределах суши Земли оценивается примерно 2·10<sup>23</sup> ккал [4].

Тепловой поток со всей поверхности Земли оценивается в 2·10<sup>17</sup> ккал/год при среднем значении теплового потока 50 мВт/м<sup>2</sup>. А суммарная теплотворная энергия всех мировых запасов угля, нефти, газа и других видов топлива оценивается

примерно  $4 \cdot 10^{19}$  ккал [5]. Эти цифры показывают, какое колоссальное количество геотермальной энергии заключено только в верхней части земной коры. Но на современном уровне развития научно-технической базы и технологии извлечения и утилизации возможно освоить лишь небольшую часть этого практически неисчерпаемого источника энергии.

Что касается изучения и освоения геотермальных ресурсов, то район исследований – Восточное Предкавказье – является наиболее изученным и перспективным районом по этим ресурсам. В частности, в Дагестане начиная с 1960-х гг. гидротермальные ресурсы широко применяются для горячего водоснабжения и отопления в городах и в населенных пунктах (Махачкала, Кизляр, Избербаш, Терекли-Мектеб, Червленая и др.).

С участием одного из авторов [6] была проведена оценка региональных запасов, ресурсов и теплоэнергетического потенциала термальных вод Восточно-Предкавказского артезианского бассейна по водоносным комплексам.

Использование гидротермальных ресурсов на всей территории Восточного Предкавказья в районах, удаленных от промышленных объектов и населенных пунктов, практически трудно реализуемо, хотя оценка этих ресурсов показывает их значительные масштабы. Поэтому проведенную оценку этих ресурсов скорее следует считать прогнозной.

Нами в данной работе ставилась задача оценить потенциальную тепловую энергию гидротермальных и петротермальных ресурсов на конкретных геотермальных месторождениях вблизи крупных населенных пунктов и промышленных объектов для последующей их рекомендации к использованию и комплексному освоению в народном хозяйстве.

Следует отметить, что работы по оценке и изучению геотермальной энергии, заключенной в горных породах осадочной толщи (петротермальной энергии), по району исследований ранее не проводились.

Одновременно нами оценивалась и роль процессов радиотеплогенерации за счет распада естественных радиоактивных элементов (урана, тория, калия) в осадочной толще геотермальных месторождений в образовании фиксируемого на поверхности теплового потока.

Для постановки вышеуказанных исследований нами были выбраны наиболее перспективные по оценке специалистов [7] геотермальные месторождения Предгорного и Равнинного Дагестана: Махачкала – Тернаир, Кизляр, Избербаш, Каякент, Берикей, Талги, Тарумовка, пл. Южно-Буйнакская.

В силу относительной однородности геологического строения и литологического состава осадочной толщи района исследований полученные величины оценок геотермальной энергии этих месторождений можно распространить и на другие районы Восточного Предкавказья с известными допущениями.

Для оценки потенциальной тепловой энергии петротермальных и гидротермальных ресурсов нами выбрана простая геолого-физическая модель осадочной толщи с известными теплофизическими параметрами горных пород и литолого-стратиграфическим строением.

Для каждого литолого-стратиграфического слоя потенциальную петротермальную энергию сухой горной породы оценивали по формуле

$$Q_{с.п.} = C \cdot t \cdot V_n \cdot \rho , \quad (1)$$

где  $Q_{с.п.}$  – потенциальная тепловая петротермальная энергия сухой породы в Дж;  $C$  – удельная теплоемкость горной породы,  $\frac{Дж}{кг \cdot ^\circ C}$ ;  $V_n$  – объем горной породы,  $м^3$ ;  $\rho$  – удельная плотность породы,  $кг/м^3$ ;  $t$  – средняя температура пласта.

Объем горной породы определяется по выражению

$$V_n = \frac{100 - K_n}{100} \cdot V , \quad (2)$$

где  $V$  – полный объем, занимаемый породой вместе с породами;  $K_n$  – коэффициент пористости.

Объем для каждого пласта:

$$V = a \times b \times h , \quad (3)$$

где  $a$  и  $b$  – длина и ширина пласта,  $м$ ;  $h$  – мощность пласта.

Так как в осадочной толще мы имеем дело с водонасыщенными породами, то отдельно определяли потенциальную тепловую энергию пластовых вод по формуле

$$Q_{п.в.} = C_v \cdot t \cdot V_{пор} \cdot \rho, \quad (4)$$

где  $C_v$  – теплоемкость пластовых вод, нами принята равной  $4.18 \cdot 10 \frac{Дж}{кг \cdot ^\circ C}$ ;  $t$  – средняя температура пластовой воды,  $^\circ C$ ;  $\rho$  – удельная плотность воды, нами принята равной  $10^3 \cdot кг/м^3$ ;  $V_{пор}$  – объем пор:

$$V_{пор} = \frac{K_n}{100} \times V, \quad (5)$$

где  $V$  – полный объем породы вместе с порами.

Полную потенциальную петротермальную и гидротермальную энергию, заключенную в осадочной толще, определяли как суммарную по всем литолого-стратиграфическим слоям по всей расчетной глубине литологической колонки.

Для расчета величины радиотеплогенерации в осадочной толще за счет распада естественных радиоактивных элементов (урана, тория, калия) в горных породах и сравнения результатов с литературными данными здесь нами принята формула (Birch et al., 1968)

$$A = 0,133Q (0,73U + 0,20Th + 0,27K),$$

(6)

где  $A$  – генерация тепла,  $мкВт/м^3$ ;  $\rho$  – удельная плотность пород,  $г/см^3$ ;  $U$ ,  $Th$ ,  $K$  – содержание в горных породах для урана и тория  $г/т$ , а для калия в % весовых.

Расчет величины радиотеплогенерации нами производился по методу послойного определения радиотеплогенерации (ПОРТ) согласно [8].

Суммарный вклад процессов радиотеплогенерации в осадочной толще в наблюдаемый на поверхности тепловой поток местности оценивали, просуммировав по каждому литолого-стратиграфическому слою величину радиотеплогенерации  $\sum_i^n A_i \times h_i$ .

В качестве расчетных ячеек для оценки величины потенциальной петротермальной и гидротермальной энергии нами принимались объемы осадочных пород на геотермальных месторождениях, соизмеримые, как правило, по территории с населенным пунктом месторасположения, как для г. Кизляра, к примеру, площадью  $5 \times 5$  км и мощностью 5 км.

Для относительной оценки геотермальной энергии в Прикумской зоне нами была выбрана промысловая площадь с опорной скважиной Южно-Буйнакская 1, по которой были достаточно полные литологические и теплофизические данные. Результаты полученных расчетных данных для каждого месторождения, где были поставлены эти исследования, приведены в таблице. В качестве расчетных ячеек выбирались объемы осадочной толщи геотермальных месторождений площадью сечения  $1 \text{ км}^2$  и мощностью до 5 км и более. Для описания геологического строения месторождений обращались к источникам [9, 10].

#### Теплоэнергетический потенциал осадочной толщи геотермальных месторождений Дагестана

| № п/п | Название месторождения (мощность изученной осадочной толщи, м) | Петротермальная энергия $Q_{с.п.}$ $n 10^{14}$ Дж | Гидротермальная энергия $Q_{п.в.}$ $n 10^{14}$ Дж | Тепловой поток от радиотеплогенерации $q$ рад. $мВт/м^2$ | Тепловой поток на местности $q$ $мВт/м^2$ |
|-------|--|---|---|--|---|
| 1.    | Южно-Буйнакская, скв. 1 (4760)                                 | 8 164.2   | 3 558.8   | 6.80   | 73.6                                      |
| 2.    | Кизлярское месторождение (5000)                                | 10 418.0  | 2 717.0   | 5.79   | 63.0                                      |
| 3.    | Каякентское месторождение (5000)                               | 10 849.9  | 3 146.7   | 6.13   | 62.0                                      |
| 4.    | Избербашское   | 11 324.0  | 2 464.0   | 6.33   | –   |

|    |                      |           |         |      |      |
|----|----------------------|-----------|---------|------|------|
|    | месторождение (5000) |           |         |      |      |
| 5. | Тарумовка (5440)     | 28 657.0* | 3 349.8 | 6.82 | 74.0 |

\* – коэффициент теплоемкости для горных пород принят как для водонасыщенных.

По результатам исследований, проведенных на геотермальных месторождениях Дагестана, на основе созданных геолого-физических моделей потенциальная петротермальная энергия, заключенная в расчетных ячейках осадочной толщи площадью сечения 1 км<sup>2</sup> и мощностью до 5 км, составляет в среднем величину, эквивалентную 40.0 млн тонн условного топлива (тут), а гидротермальная энергия – около 10 млн тут [11]. Необходимо отметить, что приводимые цифры оценивают потенциальную тепловую энергию, аккумулированную в объеме осадочных пород как в «физическом теле», из которого возможно извлечь только определенную часть, в зависимости от применяемого технологического метода.

На исследованных геотермальных месторождениях установлено, что доля радиогенной составляющей осадочной толщи мощностью до 5 км в наблюдаемом на поверхности тепловом потоке равняется в среднем 10%, или 6–7 мВт/м<sup>2</sup> [12, 13].

Таким образом, проведенная нами оценка потенциальных геотермальных ресурсов на конкретных месторождениях Дагестана показывает, что этот вид источников возобновляемой энергии, альтернативных традиционным углеводородным источникам, имеет колоссальные, практически неисчерпаемые запасы. Задача их комплексного освоения заключается только в выработке современных геотехнологических, экологически рациональных приемов и технических решений с использованием таких средств, к примеру, как тепловые насосы, и других современных технических решений, изучение и описание которых не входит в тему данной работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Huttrer G.W.* The status of word geothermal power generation, 1995–2000 // Proc. Of the World geothermal Congr., 2000. Nyushu-Tohoku, Japan, May 28 – June 10. Tohoku, 2000. Vol. 1. P. 23–27.
2. *Lund J.W., Freeston D.H.* World-wide direct uses of geothermal energy 2000 // Jbid. P. 1–21.
3. *Маврицкий Б.Ф.* Термальные воды складчатых и платформенных областей СССР. М.: Наука, 1971. 242 с.
4. *Щербань А.Н., Черняк В.П.* Прогноз и регулирование теплового режима при бурении глубоких скважин. М.: Недра, 1974. 245 с.
5. *Дергунов И.Д.* Современные представления о геотермическом режиме земной коры // Тр. I Всесоюз. совещ. по геотермальным исследованиям в СССР. Т. I. М.: АН СССР, 1959.
6. *Курбанов М.К.* Геотермальные и гидроминеральные ресурсы Восточного Кавказа и Предкавказья. М.: Наука, 2001. 260 с.
7. *Гаджиев А.Г., Курбанов М.К., Суетнов В.В. и др.* Проблемы геотермальной энергетики Дагестана. М.: Недра, 1980. 280 с.
8. *Боганик Н.С.* Радиогенное тепло земной коры Русской платформы и ее складчатого обрамления. М.: Наука, 1975. 160 с.
9. *Мирзоев Д.А., Шарафутдинов Ф.Г.* Геология месторождений нефти и газа Дагестана. Махачкала: Дагкнигоиздат, 1986. 317 с.
10. Геология нефтегазовых месторождения Дагестана и прилегающей акватории Каспийского моря / *Ф.Г. Шарафутдинов, Д.А. Мирзоев, Р.М. Алиев, В.А. Серебряков.* Махачкала: Дагкнигоиздат, 2001. 298 с.
11. *Мамаев О.А.* Подземные воды Восточного Предкавказья (формирование, гидрогеохимия и процессы радиотеплогенерации). Махачкала: ДНЦ РАН, 2006. 280 с.
12. *Батырмурзаев А.С., Гаргацев И.О., Мамаев О.А.* Оценка радиотеплогенерации в осадочной толще Восточного Предкавказья (Дагестана) // Докл. АН ССР. 1996. Т. 346, № 3. С. 396–398.
13. *Мамаев О.А.* Оценка процессов радиотеплогенерации при формировании теплового потока на примере Прикумской зоны Дагестана // Тр. ИГ ДНЦ РАН. Вып. 58. Региональная геология и нефтегазоносность Кавказа. Махачкала: АЛЕФ, 2012. С. 86–89.

Поступила в редакцию 20.03.2012 г.  
Принята к печати 30.09.2013 г.