

# Перспективы использования геотермальных ресурсов Камчатки<sup>1</sup>

**В. М. Сугробов**, Институт вулканологии ДВО Российской Академии наук,  
**В. И. Кононов, О. Б. Верейна**, Геологический институт Российской Академии наук

Приведем для примера расчет прогнозируемых ресурсов для Паужетской геотермальной системы. Ее площадь установлена по расположению поверхностных термопроявлений в однотипной гидрогеологической обстановке и оценена в 18 км<sup>2</sup> с ошибкой, по меньшей мере, в 30%. По аналогии с хорошо изученными гидротермальными системами высота резервуара принимается равной 2,5 км исходя из глубины залегания кровли нагретых пород (0,5 км) и глубины основания системы (не менее 3 км). Паужетская система частично разведана бурением. Разведанная часть – Паужетское месторождение – имеет площадь около 7±2,1 км<sup>2</sup>. Второй участок системы предположительно выделен как Камбальное месторождение, площадь развития которого оценивается сейчас в 11±3,3 км<sup>2</sup> при той же высоте резервуара. Ожидаемую мощность ГеоЭС на Паужетском и Камбальном месторождениях можно подсчитать по тепловой энергии резервуаров (qR):  $qR = VC(T - T_1)$ , где T – средняя температура (°C) в недрах системы в слое 0,5–3,0 км – 200 °C; T<sub>1</sub> – среднегодовая температура воздуха (для Камчатки около 0 °C); C – удельная теплоемкость горных пород, насыщенных флюидом (2,7 Дж/см).

Для Паужетского месторождения при  $V = 17,5 \pm 5,2 \text{ км}^3$   $qR = 9,45 \pm 2,8 \cdot 10^{18}$  Дж, для Паужетской системы в целом при  $V = 45 \pm 13,5 \text{ км}^3$   $qR = 25,7 \pm 7,7 \cdot 10^{18}$  Дж.

Если принять соотношение полезной работы и тепловой энергии

резервуара равно 0,057, то известная тепловая энергия на устье скважин (Q) будет равна  $0,539 \pm 0,16 \cdot 10^{18}$  Дж и  $1,469 \pm 0,44 \cdot 10^{18}$  Дж соответственно для Паужетского месторождения и Паужетской системы.

Возможная мощность ГеоЭС определяется из соотношения  $E = Q\eta/t$ , где  $\eta$  – коэффициент перевода тепловой энергии резервуара в электрическую (0,4), t – время использования энергии резервуара при работе электростанции (принимая ее работу в течение 100 лет).

Мощность ГеоЭС на Паужетском месторождении может быть равной  $68 \pm 20 \text{ МВт}_э$ , а при эксплуатации Паужетской системы в целом –  $185 \pm 56 \text{ МВт}_э$ . Таким образом, геотермальные ресурсы Паужетской геотермальной системы в целом, подсчитанные двумя способами, ориентируют на мощность ГеоЭС в размере 38–185 МВт<sub>э</sub>.

Основанные на вышеуказанном подходе данные подсчета прогнозируемых ресурсов высокотемпературных систем приведены в табл. 2\*. На рис. 1 показано расположение геотермальных месторождений Камчатки, эксплуатирующихся и рекомендуемых нами для постановки поисково-разведочных работ. Без учета гидротермальных систем Семейчикской, Узонской и Гейзерной, расположенных в Кроноцком заповеднике, геотермальные ресурсы эквивалентны 1 130 МВт<sub>э</sub> за 100 лет. Как видно, величины прогнозируемой мощности геотермальных электростанций, рассчитанные по естественной тепловой разгрузке систем, имеют тот же порядок.

Химический и газовый состав теплоносителя высокотемпературных месторождений можно предсказать по реальному составу теплоносителя из скважин для месторождений, изученных бурением, и поверхностных термопроявлений, которые приблизительно отражают реальный состав теплоносителя в условиях геотермального резервуара.

Крупные геотермальные месторождения с температурой в недрах ниже 150 °C также являются участками гидротермальных, но низкотемпературных систем. Многочисленные термальные источники с температурой 20–95 °C свидетельствуют об их существовании и местоположении (рис. 2).

Подсчет прогнозируемых ресурсов производился по тепловой энергии, содержащейся в горных породах резервуара, объемы которого выбирались по аналогии с разведанными месторождениями с учетом характера распределения поверхностных термопроявлений, их мощности и особенностей геологической структуры. Расположение месторождений показано на схеме (рис. 1). Предполагая прямое использование термальных вод, используемая (полезная) тепловая энергия прогнозных естественных ресурсов может быть получена введением коэффициента использования тепловой энергии, равного 0,24.

Прогнозные геотермальные ресурсы месторождений, показанных на рис. 1, достигают  $1,718 \cdot 10^{18}$  Дж, что при столетнем использовании составляет 525 МВт<sub>э</sub>.

<sup>1</sup> Окончание. Начало статьи см. в журнале «Энергосбережение». 2005. № 2. С. 98–102

\* Здесь и далее идет ссылка на начало публикации

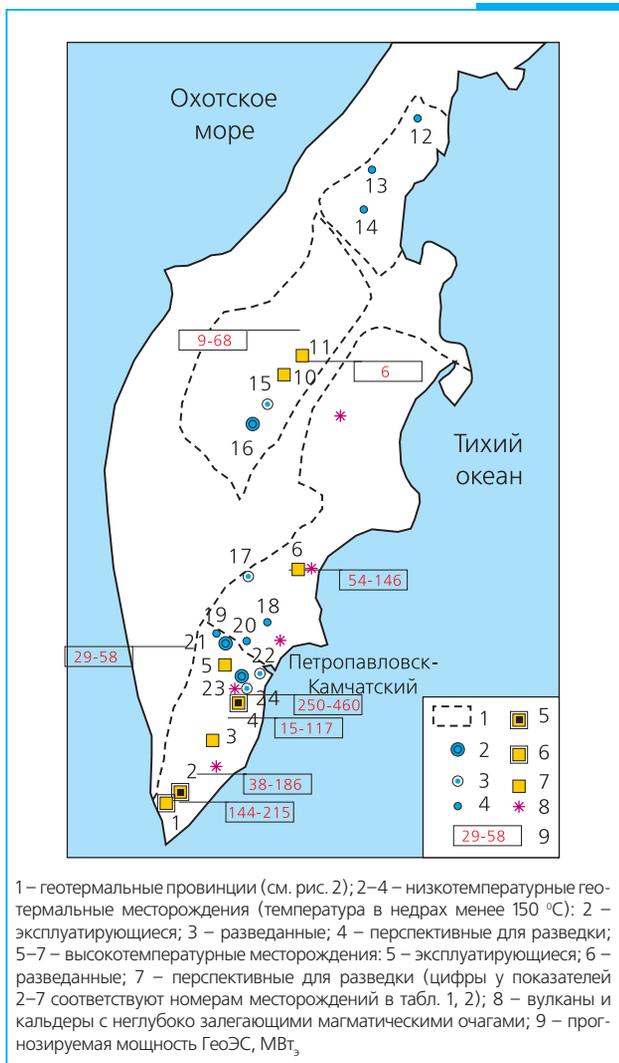
Всего в пределах четырех геотермальных провинций выделяются 43 гидротермальных системы. Величина извлекаемого (полезного) тепла этих систем составляет  $2,53 \cdot 10^{18}$  Дж, что при предполагаемом столетнем использовании составляет 800 МВт<sub>т</sub>. Общие геотермальные ресурсы месторождений с температурой менее 150 °С оцениваются, таким образом, в 1 345 МВт<sub>т</sub>.

В целом прогнозные ресурсы высокотемпературных гидротермальных систем, перспективных для использования в электроэнергетике, эквивалентны электрической мощности 550–1 130 МВт<sub>э</sub> в течение 100 лет при тепловой мощности естественной разгрузки 1 780 МВт<sub>т</sub>. Прогнозируемые ресурсы гидротермальных систем и месторождений с температурой в

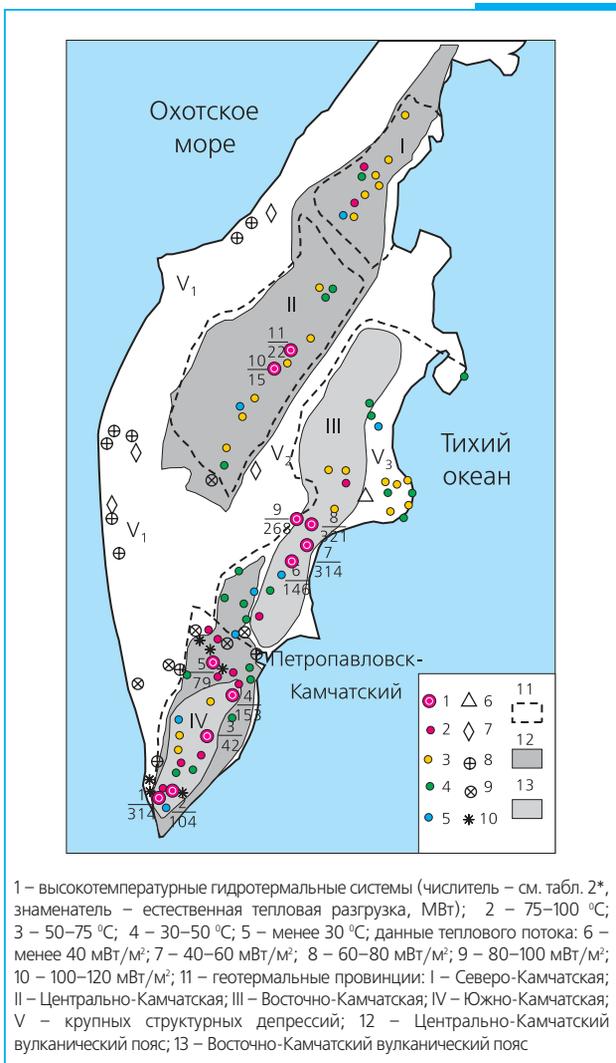
недрах менее 150 °С оцениваются мощностью 1 345 МВт<sub>т</sub> за 100 лет. Приведенные величины ресурсов могут полностью покрыть большую часть теплоэнергетических потребностей Камчатки.

Развитие использования геотермальных ресурсов возможно по двум основным направлениям. Первое – это ставшее насущной необходимостью для Камчатки освоение высокотемпературных месторождений для строительства крупных ГеоЭС. Ближайшие перспективы здесь связаны, прежде всего, с дальнейшим освоением Паужетского и Мутновского месторождений уже эксплуатирующихся Паужетской ГеоЭС мощностью 11 МВт<sub>э</sub>, Верхне-Мутновской и Мутновской ГеоЭС мощностью соответственно 12 и 50 МВт<sub>э</sub>. По разным оценкам, в том числе дан-

ной работы, возможно увеличение мощности собственно Паужетской ГеоЭС до 17–38 МВт<sub>э</sub> и геотермальных электростанций на месторождениях Мутновской гидротермальной системы до 250–460 МВт<sub>э</sub>. Несомненно, что дальнейшее обеспечение электрической энергией за счет геотермального источника во многом будет определяться возможностью эксплуатации частично разведанных Больше-Банного и Нижне-Кошелёвского месторождений. Использование ресурсов последних в энергетических целях в сочетании с ростом мощностей Паужетской ГеоЭС и комплекса Мутновских ГеоЭС могло бы решить проблему надежного и полного электроснабжения юга и центра Камчатской области за счет геотермального источника.



▼ Рис. 1. Карта расположения геотермальных месторождений Камчатки, эксплуатирующихся и рекомендуемых для поисково-разведочных работ (см. табл. 2\*)



▼ Рис. 2. Расположение основных групп горячих источников и гидротермальных систем Камчатки

Второе направление, можно сказать традиционное, это более широкое прямое использование природного теплоносителя месторождений с температурой менее 150 °С и отработанного теплоносителя высокотемпературных месторождений для теплоснабжения жилых и промышленных объектов, теплиц, плавательных бассейнов. В первую очередь, конечно, речь идет о развитии уже существующих систем теплоснабжения на базе Паратунского и Эссовского месторождений. Представляет интерес новый проект создания современной системы тепло- и электроснабжения г. Елизово и близлежащих населенных пунктов с использованием ресурсов Верхне-Паратунского, Паратунского и Кеткинского месторождений. Общий расход используемой термальной воды с температурой 45–90 °С составляет около 300 л/с. Предусматривается также разработка и применение систем, обеспечивающих максимальный съем энергии геотермальных ресурсов, в частности на основе строительства бинарных электростанций и использования тепловых насосов. Строительство бинарных станций дает возможность широкого развития систем локального тепло-, электроснабжения на базе небольших геотермальных месторождений. Кроме того, их сооружение позволяет получить дополнительные мощности на существующих ГеоЭС за счет использования энергии остаточного после отработки в пароводяном цикле теплоносителя. Это имеет и большое значение для рациональной эксплуатации высокотемпературных, особенно горячеводных месторождений типа Паужетского, в которых почти 90 % извлекаемого из недр теплоносителя часто расходуется впустую.

### **Заключение**

Первоначально оценка прогнозируемых ресурсов высокотемпературных систем, выполненная только на основе определения естественной тепловой разгрузки, составила 350 МВт<sub>г</sub> на период 30–100 лет.

В данной работе подсчет прогнозируемых ресурсов гидротермальных конвективных систем опи-

рается в основном на объемный метод. Тепловая энергия резервуаров высокотемпературных систем ( $150 \cdot 10^{18}$  Дж) без Семьячической, Узонской и Гейзерной, расположенных в Кроноцком заповеднике, могут обеспечить работу геотермальных станций порядка 1 130 МВт<sub>г</sub> в течение 100 лет.

Прогнозируемые ресурсы гидротермальных систем и месторождений с температурой резервуара менее 150 °С составляют около  $4,2 \cdot 10^{18}$  Дж (полезное тепло), что при столетнем предполагаемом использовании составит 1 345 МВт<sub>г</sub>.

Подсчитанные по данным естественной тепловой разгрузки геотермальные ресурсы высокотемпературных систем, за исключением трех систем, расположенных в Кроноцком заповеднике, составляют 550 МВт<sub>г</sub>. Следует подчеркнуть, что величина оцененных геотермальных ресурсов приближена, так как их изучение, в основном наземными исследованиями, не позволило точно определить главные характеристики геотермальных резервуаров. Именно поэтому при оценке применялась упрощенная схема подсчетов, при которой для всех резервуаров были взяты одинаковыми мощность, глубина залегания кровли, средняя температура, удельная теплоемкость пород. Для двух месторождений – Паужетского и Мутновского – по данным разведки можно внести существенные коррективы в оценку геотермальных ресурсов. Сейчас ясно, что мощность Паужетского месторождения меньше прогнозных ресурсов. Но, так как Паужетское месторождение является частью Паужетской системы, которая еще не изучена бурением, мы пока берем за основу прежнюю оценку ее потенциала. Также преждевременна, на наш взгляд, переоценка прогнозных ресурсов Мутновской системы в целом до завершения разведки. Еще большая неопределенность возникает в оценке потенциала месторождений с температурой менее 150 °С из-за большого разнообразия гидрогеологических условий месторождений, например, на это указывают зарубежные

исследователи. Мы пока оцениваем ресурсы месторождений с температурой менее 150 °С, связанных с гидротермальными конвективными системами, величиной около 1 345 МВт<sub>г</sub>. Для месторождений Камчатки всех типов более высокое значение дано Ю. Ф. Манухиным – 8 000 МВт<sub>г</sub>.

Несмотря на неопределенность в оценке прогнозных ресурсов гидротермальных конвективных систем, полученные нами величины (табл. 2)\* показывают возможный масштаб использования геотермальной энергии, на который следует ориентироваться при постановке разведочного и эксплуатационного бурения.

Дальнейшие исследования, особенно с применением разведочного бурения и эксплуатация промышленных месторождений будут способствовать уточнению ресурсов и открытию новых геотермальных месторождений.

Перспективными в отношении природы геотермальных ресурсов могут быть районы современного Восточно-Камчатского и Центрально-Камчатского вулканических поясов. К ним относятся кальдера Ксудач и кальдера вулкана Горелый (Южно-Камчатская провинция), Налычевские источники и Малый Семьячик (вблизи Карымской системы), район вулкана Кизимен (Восточно-Камчатская провинция), Двухюрточные источники (вблизи Киреунских, Центрально-Камчатская провинция), Русаковские источники (Северо-Камчатская провинция) и другие. На наш взгляд, в пределах Семьячинской гидротермальной системы, находящейся на границе Кроноцкого заповедника, целесообразно строительство небольшой ГеоЭС с электрической мощностью 3–5 МВт для снабжения крупного туристического комплекса Долины гейзеров.

Разумеется, могут более широко использоваться низкотемпературные месторождения, в том числе и в невулканических районах Западной Камчатки, а также в долгосрочной перспективе тепловая энергия неглубокозалегających магматических очагов, величина которой оценивается в  $1,2 \cdot 10^{21}$  Дж. ■