

# Перспективы использования геотермальных ресурсов Камчатки

**В. М. Сугробов**, Институт вулканологии ДВО Российской Академии наук,

**В. И. Кононов, О. Б. Верейна**, Геологический институт Российской Академии наук

Общий вынос тепла гидротермами Камчатки в естественных условиях достигает 2 300 МВт<sub>т</sub>, в том числе высокотемпературных гидротермальных систем – 1 780 МВт<sub>т</sub>. Величина выноса тепла соответствует постоянно возобновляемым геотермальным ресурсам, увеличение которых возможно при вскрытии глубоких горизонтов скважинами. Прогнозные геотермальные ресурсы высокотемпературных месторождений Камчатки с учетом накопленной тепловой энергии и коэффициента увеличения тепловой мощности резервуаров эквивалентны получению 965–1 775 МВт<sub>э</sub>.

Геотермальные ресурсы рекомендованных к разведке и разработке геотермальных месторождений составляют 550–1 130 МВт<sub>э</sub>. Пока используется только 13 % минимально прогнозируемых ресурсов (Паужетская ГеоЭС с установленной мощностью 11 МВт<sub>э</sub> и Верхне-Мутновская и Мутновская ГеоЭС мощностью 12 и 50 МВт<sub>э</sub> соответственно). Ресурсы низкотемпературных систем оцениваются в 1 340 МВт<sub>т</sub>. Из них около 100 МВт<sub>т</sub> идет на обогрев термальными водами различной температуры жилых и административных зданий (Эсс, Анавгай, Паужетка, Паатаунка и др.), теплиц, плавательных бассейнов. В настоящее время разрабатывается проект геотермального теплоснабжения Елизовского района. Перспективным для строительства новых ГеоЭС является, прежде всего, Мутнов-

ское месторождение, ресурсы которого позволяют увеличить мощность существующих станций до 250–460 МВт<sub>э</sub>, а также высокотемпературные гидротермальные системы: Паужетская, Кошелевская, Больше-Банная, Семячикская, Киреунская.

### Введение

Камчатский полуостров является примером островных дуг, формирующихся в тектонически активной зоне перехода от Тихого океана к Азиатскому континенту. Центральный и Восточный вулканические пояса протягиваются вдоль полуострова. Вулканическая активность в первом поясе началась в олигоцене, во втором она отмечена с начала плиоцена.

Характерными чертами геотермических условий Камчатки являются регионально повышен-

ный тепловой поток и широкое развитие локальных термоаномалий. В их пределах тепловой поток может быть самым различным – от почти нулевых до очень высоких значений (84–105 мВт/м<sup>2</sup>), при этом в общем выносе тепла существенную роль играет конвективная составляющая.

На Камчатке выделяются три крупных гидрогеологических массива: Центральный, Восточный и полуостров восточного побережья. В разделяющих их структурных депрессиях находятся артезианские бассейны. Геологическое строение полуострова в сочетании с существующими здесь геотермическими и гидрологическими условиями благоприятно для формирования месторождений термальных вод, особенно в пределах молодого Срединного и современного Восточного вулканических поясов. В кальдерах,

Таблица 1

Вынос тепла естественными термопроявлениями Камчатки

Термальные источники, гидротермальные системы	Вынос тепла, МВт							Камчатка в целом
	Геотермальные провинции				Вулканические пояса			
	I	II	III	IV	Центрально-Камчатский	Восточно-Камчатский	Пояса в целом	
Термальные источники с температурой менее 100 °С	81,3	21,8	198,3	230,8	288,8	114,5	403,3	532,2
Высокотемпературные системы	-	40,5	1 049,0	692,2	119,5	1 662,2	1 781,7	1 781,7
Сумма	81,3	62,3	1 247,3	923,0	408,3	1 776,7	2 186,0	2 313,9

вулcano-тектонических депрессиях, грабенах, а также на склонах стратовулканов возникают многочисленные изолированные бассейны и трещинные системы термальных вод. В пределах рассматриваемых вулканических поясов проявляются все возможные формы тепловой энергии и обнаруживаются все виды геотермальных ресурсов: гидротермальные, петрогеотермальные и магматических расплавов. С учетом геолого-структурных особенностей, геотермических и гидрогеологических условий на Камчатке выделено пять геотермальных провинций, в которых насчитывается около 150 групп термальных источников, в том числе 11 высокотемпературных гидротермальных систем. По своему химическому составу и температурным параметрам источники относятся к различным типам термальных флюидов, обычно распространенных в областях современного вулканизма. Ниже рассматриваются перспективы использования наиболее легко извлекаемых гидротермальных ресурсов.

### Геотермальные провинции и мощность тепловой разгрузки

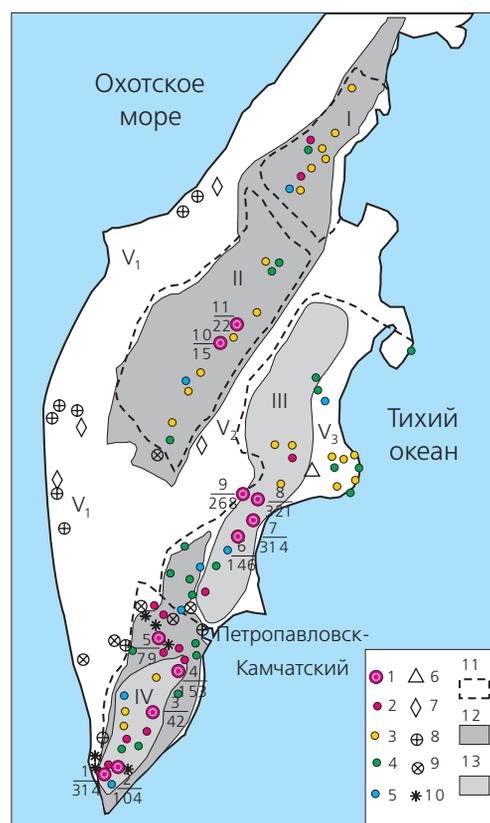
Величина выноса тепла поверхностными термопроявлениями или мощность тепловой разгрузки определяют минимальную постоянно возобновляемую величину геотермальных ресурсов. Оценка выноса тепла сделана для четырех геотермальных провинций, приуроченных к вулканическим поясам.

В Северо-Камчатской геотермальной провинции (рис. 1) отмечено 16 групп термальных источников с различной температурой. Максимальная температура воды (75–95 °С) зафиксирована в Паланских, Русаковских источниках. Воды источников относятся к азотным термам, преимущественно сульфатно-кальциевого натриевого состава и общей минерализацией до 1,2 г/л. Общий вынос тепла составляет около 80 МВт<sub>т</sub> (табл. 1).

В Средне-Камчатской провинции расположено 26 групп тер-

мальных источников, в том числе две группы кипящих (Киреунские, Апапельские). По химическому составу они относятся к гидрокарбонатным и гидрокарбонатно-сульфатным водам, а кипящие – к хлоридно-натриевым водам при общей минерализации 1–2,5 г/л. По составу газа воды источников азотные и углекисло-азотные. Общий вынос тепла гидротермами составляет более 60 МВт<sub>т</sub>. В этой провинции эксплуатируются в настоящее время только два месторождения с температурой в недрах менее 150 °С – Эссовское, Анавгайское (рис. 2) – для теплоснабжения пос. Эссо и обогрева теплиц.

В Восточно-Камчатской геотермальной провинции отмечается 52 группы термальных источников, большая часть которых расположена в Восточно-Камчатском вулканическом поясе. Среди них выделяются кипящие источники и паровые струи поверхностных проявлений крупных гидротермальных систем: Узонской, Гейзерной, Семьячинской, каждая из которых выносит 268, 321, 314 МВт<sub>т</sub> соответственно (рис. 1). Вода кипящих источников характеризуется хлоридно-натриевым составом с общей минерализацией 2–2,5 г/л. Горячие и теплые источники с температурой 20–75 °С по химическому составу относят-

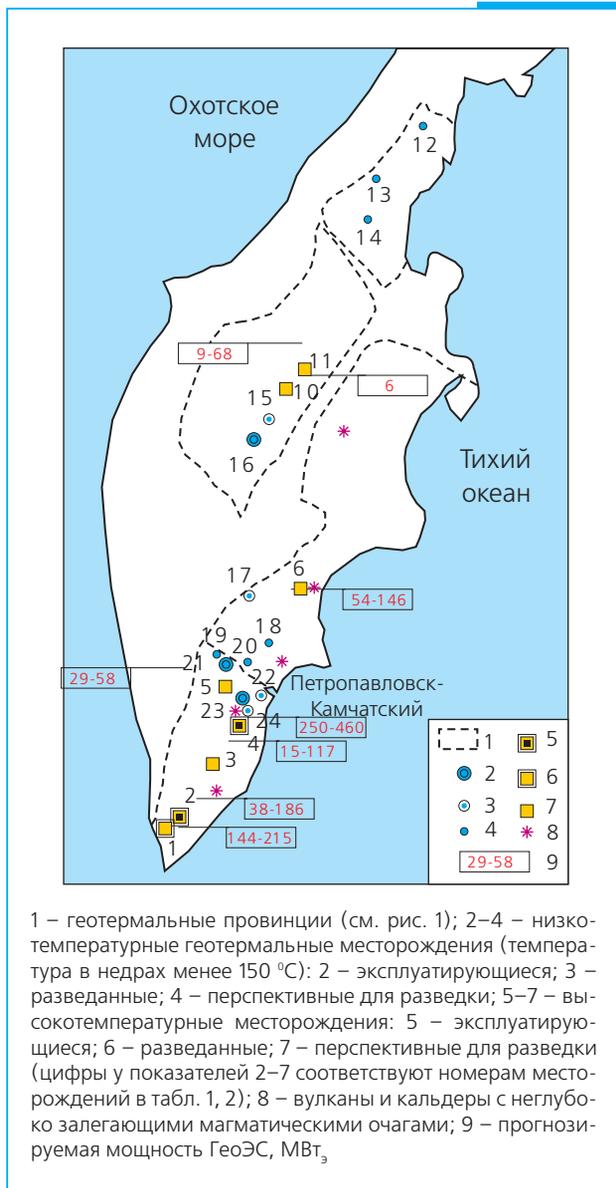


1 – высокотемпературные гидротермальные системы (числитель – см. табл. 2, знаменатель – естественная тепловая разгрузка, МВт); 2 – 75–100 °С; 3 – 50–75 °С; 4 – 30–50 °С; 5 – менее 30 °С; данные теплового потока: 6 – менее 40 мВт/м<sup>2</sup>; 7 – 40–60 мВт/м<sup>2</sup>; 8 – 60–80 мВт/м<sup>2</sup>; 9 – 80–100 мВт/м<sup>2</sup>; 10 – 100–120 мВт/м<sup>2</sup>; 11 – геотермальные провинции: I – Северо-Камчатская; II – Центрально-Камчатская; III – Восточно-Камчатская; IV – Южно-Камчатская; V – крупных структурных депрессий; 12 – Центрально-Камчатский вулканический пояс; 13 – Восточно-Камчатский вулканический пояс

▼ Рис. 1. Расположение основных групп горячих источников и гидротермальных систем Камчатки

ся к сульфатным или гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридным водам с общей минерализацией от 0,8 до 7,0 г/л. Общий вынос тепла гидротермами достигает почти 1 250 МВт<sub>т</sub>. В провинции исследованы буровыми скважинами три низкотемпературных месторождения: Пущинское, Налычевское и Пиначевское (Кеткинское).

В Южно-Камчатской геотермальной провинции насчитывается 55 разнообразных по форме термопроявлений, в том числе связанные с высокотемпературными гидротермальными системами: Мутновской, Больше-Банной, Паужетской, Кошелевской.



1 – геотермальные провинции (см. рис. 1); 2–4 – низкотемпературные геотермальные месторождения (температура в недрах менее 150 °С): 2 – эксплуатирующиеся; 3 – разведанные; 4 – перспективные для разведки; 5–7 – высокотемпературные месторождения: 5 – эксплуатирующиеся; 6 – разведанные; 7 – перспективные для разведки (цифры у показателей 2–7 соответствуют номерам месторождений в табл. 1, 2); 8 – вулканы и кальдеры с неглубоко залегающими магматическими очагами; 9 – прогнозируемая мощность ГеоЭС, МВт<sub>э</sub>

▼ Рис. 2. Карта расположения геотермальных месторождений Камчатки, эксплуатирующихся и рекомендуемых для поисково-разведочных работ (см. табл. 2, 4)

Для большей части термальных источников с температурой до 100 °С характерен сульфатный и хлоридно-сульфатный натриевый состав воды с общей минерализацией 0,8–1,2 г/л. Паужетские и Ходуткинские гидротермы отличаются хлоридно-натриевым составом. Поверхностные проявления Мутновской и Кошелевской систем, связанные с выходом пара и газа, имеют разнообразный химический состав – от гидрокарбонатно-натриевых до сульфатно-натриевых вод. Газовый состав – азотно-углекислый и углекисло-азотный. Паужетские и Ходуткинские горячие воды ха-

рактуют Верхне-Мутновская и Мутновская ГеоЭС с установленной мощностью 12 и 50 МВт<sub>э</sub> соответственно. Еще на двух месторождениях в пределах высокотемпературных систем: Больше-Банном и Нижне-Кошелевском проводилось разведочное бурение, однако, полное исследование геотермальных резервуаров для возможного строительства ГеоЭС не завершено. Из пяти разведанных низкотемпературных месторождений здесь эксплуатируются три: Паратунское, Малкинское и Начикинское. Причем Паратунское месторождение обеспечивает работу довольно крупного тепличного

рактуются CI-Na составом. Общий вынос тепла разгружающимися термальными водами составляет около 920 МВт<sub>э</sub>.

Гидротермальные системы Южно-Камчатской провинции наиболее изучены с помощью буровых скважин, а выделенные на основе разведки геотермальные месторождения обеспечивают прямое использование геотермальных ресурсов и работу ГеоЭС. Прежде всего, это Паужетское и Мутновское месторождения (рис. 2). На базе первого с 1967 года функционирует Паужетская ГеоЭС, установленная мощность которой ныне составляет 11 МВт<sub>э</sub>. На двух участках Мутновского месторождения рабо-

комбината и систему теплоснабжения населенных пунктов. Гидротермы Камчатки в целом выносят около 2 314 МВт тепла, причем 1 782 МВт тепла (77 %) составляет тепловая разгрузка высокотемпературных гидротермальных систем (табл. 1).

За пределами развития современных поверхностных термопроявлений в структурных депрессиях получили распространение пластовые термальные воды, нагревающиеся кондуктивным тепловым потоком. Площади их формирования выделены В. И. Кононовым и В. М. Сугробовым в отдельную геотермальную провинцию – крупные структурные депрессии (V). Она объединяет Западно-Камчатский прогиб (V<sub>1</sub>), Центральный Камчатский прогиб (V<sub>2</sub>), Восточно-Камчатский прогиб (V<sub>3</sub>), Корьякско-Авачинскую депрессию и другие более мелкие депрессии. В их глубоких горизонтах содержатся «метановые и азотно-метановые» воды. Этот тип термальных вод имеет температура излива из скважин от 20 до 75 °С, слегка щелочную реакцию (рН 7–9) и минерализацию до 35 г/л.

Геотермальные ресурсы таких пластовых термальных вод мало изучены. В Западно-Камчатском прогибе, вскрытом отдельными скважинами, температура воды на глубине 3 000 м колеблется от 80 до 130 °С, геотермальные ресурсы оцениваются в 0,5 м<sup>3</sup>/с. Однако их глубокое залегание, сравнительно небольшая температура и высокая минерализация делают их использование в настоящее время экономически невыгодным.

### Оценка геотермальных ресурсов

Для оценки геотермальных ресурсов гидротермальные конвективные системы разделялись условно на высокотемпературные (температура в недрах более 150 °С) и гидротермальные системы с температурой в недрах менее 150 °С. Соответственно этому делению классифицировались геотермальные месторождения,

связанные с гидротермальными системами. Прогнозные геотермальные ресурсы как доступные базовые (accessible resource base) оценивались преимущественно по данным наземных исследований термоаномалий. Это обстоятельство определяет их величину и качество как предполагаемых возможных ресурсов.

В данной работе рассматриваются в основном геотермальные ресурсы высокотемпературных гидротермальных систем, обеспеченные запасами термальных вод и пара и теплом, аккумулированном обводненными породами, которые сейчас реально используются или могут быть использованы в теплоэнергетических установках.

При оценке геотермальных ресурсов применялось два основных способа:

- по величине естественной тепловой разгрузки (выносу тепла поверхностными термопроявлениями);

- по данным определения тепловой энергии, содержащейся в горных породах, насыщенных флюидом и распространенных в пределах гидротермальных систем.

Первая оценка основывается на допущении, что естественная тепловая разгрузка, определяемая по сумме выноса тепла поверхностными термопроявлениями, отождествляется с минимальными геотермальными ресурсами, увеличение которых возможно при вскрытии глубоких горизонтов скважинами в процессе разведки и эксплуатации месторождений. Коэффициент такого увеличения, определенный по сопоставлению полученных эксплуатационных запасов геотермальных месторождений и оценок мощности тепловой разгрузки гидротерм, изменялся от 3 до 7.

Реально извлекаемые запасы, как установлено при разведке Паужетского, Больше-Банного месторождений, превышают тепловую мощность в три и более раз. Например, для Паужетского месторождения было показано, что при мощности термопроявлений Паужетского геотермального поля в  $63 \text{ МВт}_T$  отбор тепла скважинами при стабильном режиме на северном участке месторождения составил  $146 \text{ МВт}_T$  и при тепловой мощности всей системы в  $104 \text{ МВт}_T$  суммарный вынос тепла геотермальными скважинами на месторождении достиг  $350 \text{ МВт}_T$ . В ходе первой стадии изучения Мутновского месторождения отбор тепла скважинами превысил более чем в два раза естественную тепловую мощность Мутновской системы (без учета выноса тепла Мутновским вулканом –  $290$  и  $129 \text{ МВт}_T$  соответственно). Большая мощность скважинного водозабора вполне понятна и объясняется дополнительным привлечением в процессе эксплуатации термальных вод за счет сработки запасов геотермального резервуара, перетеканием флюида из других горизонтов и участков, снятием тепла, запасенного горными породами резервуара.

Подсчет прогнозных геотермальных ресурсов по естественной тепловой разгрузке с увеличивающим эмпирическим коэффициентом, равным 4, предполагает эксплуатацию в течение 30–100 лет без существенного изменения качества теплоносителя. При

## «Современное энергоэффективное оборудование для теплоснабжения и климатизации зданий»

Москва, ■

23–24 мая, 2005 ■



### ПРОГРАММА

23 мая 2005 г., понедельник

- 11:00 – 14:00  
– Форум «**Инновационные технологии XXI века для теплоснабжения и климатизации зданий**»  
– Вручение дипломов новым членам НП «АВОК»
- 15:00 – 17:30  
– Семинар «**Технологии строительства интеллектуального здания**»

24 мая 2005 г., вторник

- 10:00 – 13:30  
– Семинар «**Инновационные технологии создания комфорта. Вентиляция и кондиционирование воздуха**»
- 14:30 – 17:30  
– Семинар «**Инновационные технологии систем теплоснабжения и отопления; учетно-биллинговые системы**»

Международный выставочный комплекс на Красной Пресне «Экспоцентр», павильон № 7, конференц-зал, 4 этаж

Получить справки и заказать пригласительный билет можно по тел./факсу: (095) 921-60-31, 921-80-48 или по E-mail: potapov@abok.ru

Полную программу симпозиума смотрите на [www.abok.ru](http://www.abok.ru)

Прогнозные геотермальные ресурсы высокотемпературных гидротермальных систем и месторождений Камчатки

№№ на карте	Гидротермальные системы и месторождения	Состояние теплоносителя на поверхности	Естественная тепловая разгрузка, МВт <sub>T</sub>	Площадь распространения проявлений, км <sup>2</sup>	Объем резервуара, км <sup>3</sup>	Средняя температура резервуара (максимальная в скважинах), °С	Тепловая энергия резервуара, 10 <sup>18</sup> Дж	Прогнозная электрическая мощность, МВт <sub>э</sub>	
								По тепловой энергии резервуара	По тепловой разгрузке
1	Кошелевская	Перегретый и насыщенный пар	314	15±4,5	37,5±11,2	220	22,27±6,8	215±64	144
	Нижне-Кошелевское		104	7±2,1	17,5±5,2	220 (240)	10,39±3,11	100±30	48
2	Паужетская	Насыщенный пар и вода	104	18±5,4	45±13,5	200 (220)	25,78±7,73	186±56	38
	Паужетское		62,8	7±2,1	17,5±5,2	200 (218)	9,45±2,83	68±20	20
3	Ходуткинская	Горячая вода, источники 88 °С	42	12,0±3,3	30±9	200	16,2±4,8	117±35	15
4	Мутновская	Перегретый и насыщенный пар	546	32±9,6	80±24	220	47,52±14,2	460±138	251
	Северомутновское		129	12±3,6	30±9	220 (301)	17,82±5,3	172±52	59
5	Большее-Башенная	Вода (кипение)	79	6±1,8	15±4,5	200 (171)	8,1±2,43	58±17	29
6	Карымская		146	15±4,5	37,5±11,2	200	20,25±6,1	146±44	54
10	Апальская		16			200			6
11	Киреунская		24,5	7±2,1	17,5±5,2	200	9,45±2,83	68±20	9

расчете прогнозных ресурсов Паужетской гидротермальной системы тепловая мощность по сумме выноса тепла естественными термопроявлениями составила 104 МВт<sub>T</sub>. Увеличивая данный показатель в четыре раза (коэффициент увеличения эксплуатационных запасов в сравнении с естественной тепловой мощностью изменяется от 3 до 7) и вводя коэффициент перехода в полезную работу тепловой энергии на устье скважин (0,23), переводя ее в электрическую энергию (0,4), получили прогнозную электрическую мощность – 38 Мвт<sub>э</sub>.

Величины потенциала электрической энергии таким же образом были подсчитаны для других высокотемпературных систем Камчатки. Прогнозные геотермальные ресурсы высокотемпературных гидротермальных систем, исключая Гейзерную, Семячикскую и Узонскую, расположенных в Кроноцком заповеднике, эквивалентны 550 МВт электрической мощности (табл. 2).

Величина ресурсов, подсчитанных таким образом, дает лишь ее порядок и проводится на ранних стадиях изучения систем до бурения. Некоторая достоверность такой оценки обоснована

тем, что величина естественной тепловой разгрузки отражает суммарно некоторые характеристики резервуара, в частности, проводимость.

Более надежными считаются оценки прогнозных ресурсов, рассчитанные объемным методом. Оценка данным способом требует определения (знания) тепловой энергии, содержащейся в горных породах резервуара, насыщенных флюидом. Для этого необходимо определить объемы блока, слоя или резервуара нагретых горных пород, их температуру и удельное теплосодержание. При определении объема резервуара его мощность для всех систем принята одинаковой (2,5 км), исходя из залегания кровли на глубине 0,5 км и базовой глубины системы – 3 км. Поэтому объем резервуара зависел от его площади, определение которой во многих случаях не было однозначным. Площадь определялась по распространению поверхностных термопроявлений, геологическому строению участка и особенностям гидрогеологических условий. Неопределенность оценки площади выражается погрешностью не менее 30 %.

Температура в недрах систем, оцененная по химическим геотер-

мометрам, расчету по данным измерения теплового потока или измерениям в скважинах, изменялась от 150 до 220 °С для горячеводных систем и от 200 до 310 °С для пародоминирующих и двухфазных. Однако распределение температуры в конкретных резервуарах для большинства систем еще неизвестно, так как проводилось разведочное бурение. Поэтому для приближенных расчетов термальной энергии в резервуаре температура принималась средней, одинаковой для всех горячеводных систем – 200 °С и пародоминирующих или двухфазных систем – 220 °С.

Удельная теплоемкость пород, насыщенных водой и паром и представленных, главным образом, вулканитами и вулканогенно-осадочными породами, принималась равной 2,7 Дж/см<sup>3</sup>·°С, а отношение тепловой энергии резервуара к полезной работе – 0,057 и 0,061 соответственно для резервуаров со средней температурой 200 и 220 °С. Коэффициент электрического использования для горячеводных систем равен 0,4 и для пародоминирующих – 0,5. ■

▼ Продолжение в следующем номере