

ИЗМЕНЕНИЯ ТЕРМОГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО И ГАЗОГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕЗЕРВУАРА В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ МУТНОВСКОГО ГЕОТЕРМАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

А.В. Кирюхин¹, Л.К. Москалев², А.Ю. Поляков¹, И.И. Чернев²

¹-Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Пийпа-9, П-Камчатский, Россия, 683006
avk2@kcs.iks.ru

²- АО «Геотерм», Королева-60, П-Камчатский, Россия, 683980

Мутновское геотермальное месторождение (Дачные паровые струи) открыто сравнительно недавно (И.Т. Кирсанов, 1960). Детальное описание термопроявлений выполнено Е.А. Вакиным и др. (1966-1976). После проведения поисковых, разведочных работ и оценки эксплуатационных запасов (В.М. Сугробов, 1986, Г.М. Асаулов и др., 1987), на месторождении построены и введены в эксплуатацию Верхне-Мутновская ГеоЭС (1999 г, установленная электрическая мощность 12 МВт) и Мутновская ГеоЭС (2002 г, установленная электрическая мощность 50 МВт).

С самого начала эксплуатации Мутновской ГеоЭС возникли проблемы устойчивого обеспечения ГеоЭС теплоносителем. Например, в 2003 г ГеоЭС могла обеспечивать лишь 30-35 МВт электроэнергии, поэтому ежегодно к ГеоЭС подключаются дополнительные скважины (в 2003 – две (24 и 5Е), в 2004 г – две (037 и 013), в 2005 – одна (042)). Очевидно, что для обеспечения устойчивого режима эксплуатации геотермального месторождения в дальнейшем - необходимо бурение дополнительных эксплуатационных скважин с учетом понимания геотермальных процессов в резервуаре - это возможно только на основе регулярных и достоверных измерений характеристик геотермального резервуара в сочетании с применением численного термогидродинамического моделирования (А.В. Кирюхин и др., 2005).

Схема мониторинга в районе месторождения изображена на рис. 1. К месторождению примыкают с юга активный вулкан Мутновский (в 8 км), с запада – активный вулкан Горелый (12 км), само месторождение находится на активной трещинной зоне, сообщающейся с системой магматических питающих каналов вулкана Мутновский, что придает проводимым наблюдениям более общий интерес в связи с прогнозом вулканической и сейсмической активности (А.В. Кирюхин и др., 2002).

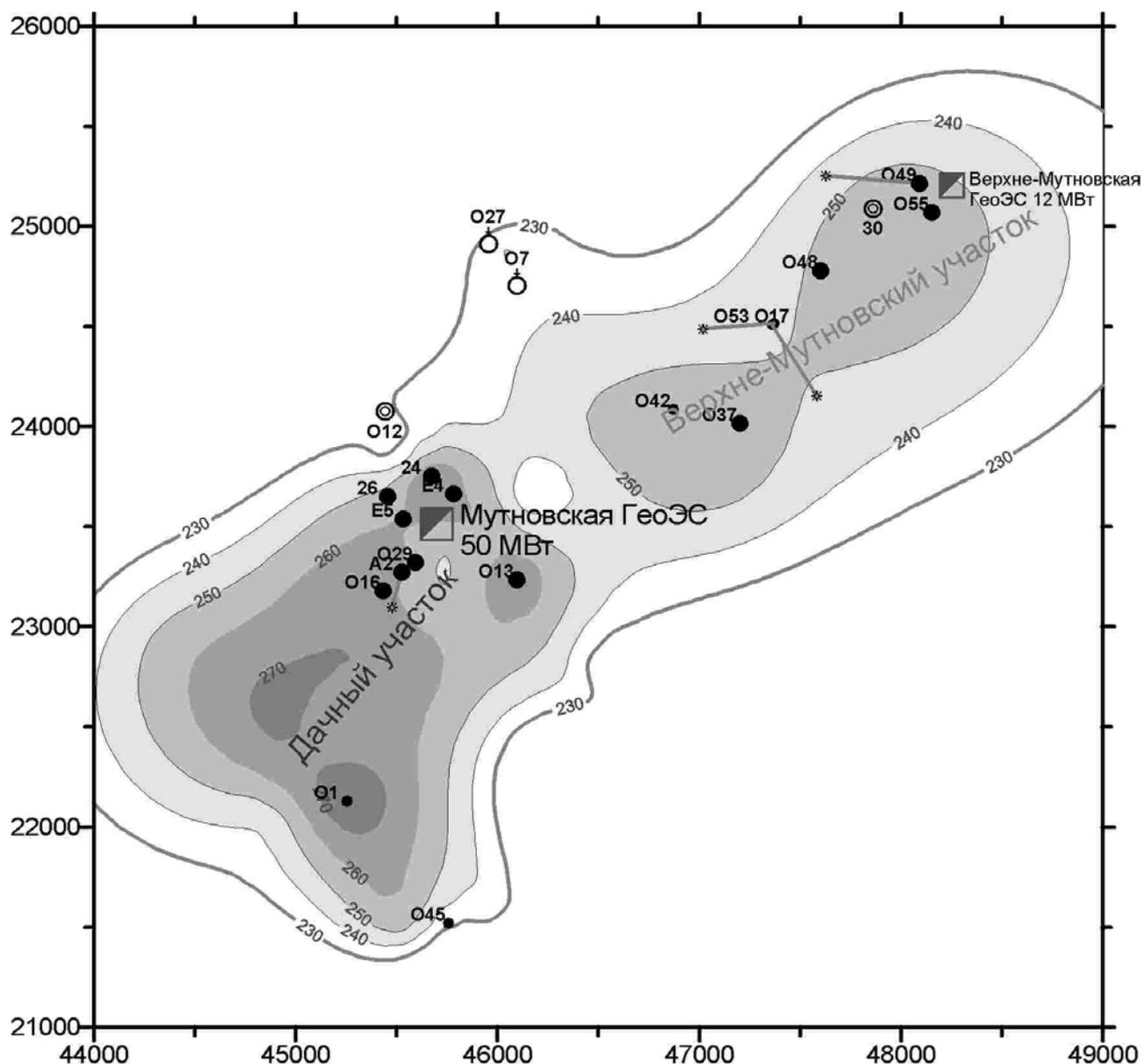


Рис. 1 Схема мониторинга термогидродинамических и газогидрохимических параметров в районе Мутновского геотермального месторождения. Большие закрашенные кружки - эксплуатационные скважины, из которых осуществлялся отбор проб на газогидрохимический анализ (016, 029W, E5, E4, 26, 037, 048, 055), двойные кружки - скважины, в которых осуществляется мониторинг давления (30, 012), незакрашенные кружки - скважины, в которые осуществляется реинжекция отработанного теплоносителя (027, 07). Изотермы показывают распределение начальной температуры на абс. отм. -250 м.

Данные по газовому составу скважин до начала их эксплуатации показывают высокие содержания газов метеорного происхождения (N_2 , O_2) в неглубоких скважинах 016 и 26, вскрывающих пароконденсатный резервуар, в то время как глубокие скважины 029W и E4,

вскрывающие вододоминирующий двухфазный резервуар, до начала эксплуатации характеризовались пониженным содержанием газа (табл. 1). В процессе эксплуатации отмечается значительное увеличение газов метеорного происхождения (N_2 , O_2), особенно по более глубоким скважинам (029W и E4), вскрывающим вододоминирующий резервуар ($Q_s < 1$). Значительные содержания метеорных газов обнаружены также в скв. 055, 048 и 037 в 2004 г. Относительная доля метеорных газов по всем скважинам возросла в 2-4 раза после начала эксплуатации. Данные по изменению макрокомпонентов химического состава глубоких скважин 029W и E4 показывают, что после начала эксплуатации происходит разбавление по Cl (на 9-23%) и увеличение SO_4 (на 10-55%) (табл. 1). Температуры в геотермальном резервуаре, оцениваемые по Na-K геотермометру по скважинам, вскрывающим вододоминирующий двухфазный резервуар в среднем понизились с $270^\circ C$ (до начала эксплуатации) до $260^\circ C$ (в 2004 г). Энтальпии, оцениваемые по T Na-K в среднем на 20-40 кДж/кг ниже измеренных энтальпий по скважинам 055, 048 (1160-1180 кДж/кг), что свидетельствует о двухфазном состоянии теплоносителя в вододоминирующем резервуаре.

Табл. 1 Химический состав теплоносителя отобранного из эксплуатационных скважин Мутновского геотермального месторождения (мг/кг), пересчитанный на условия в геотермальном резервуаре. Отбор проб осуществлялся в 1999-2004 гг А.В. Кирюхиным и А.Ю. Поляковым (с 2002 г по методике ASTM E 1675-95a с использованием малогабаритных сепараторов), анализ выполнялся В.К. Марыновой, В.Н. Шапарем и И.Ф. Тимофеевой в ЦХЛ ИВ ДВО РАН (RU.0001.511904) и также С.Б. Бортниковой методом ICP в ИГГ СО РАН; Q_s – величина паросодержания, использованная в расчетах; индекс «s» показывает значение pH относящееся к сепарату.

	1999				2003					2004							
	O16	26	4E	O29W	O16	26	4E	O29W	5E	O16	26	4E	O29W	5E	O55	O37	O48
Q_s	1	1	0.2646	0.2396	1	1	0.2166	0.2396	0.227	1	1	0.2166	0.2396	0.227	0.230	0.377	0.221
pH	4.8	5.0	9.06s	9.04s	4.9	4.8	8.26s	8.74s	7.71s	5.2	4.91	8.06s	8.73s	9.15S	9.4s	9.24s	9.5s
NH_4^+	9.5	6.2	1.0	1.5	7.8	9.0	2.4	2.8	2.0	7.0	6.5	9.3	2.1	1.3	2.1	5.6	2.3
Na^+	0.4	0.0	203.3	166.7	0.0	0.1	173.0	132.1	171.8	0.1	0.15	207.3	159.6	198.0	177.5	141.9	177.5
K^+	0.1	0.0	39.4	31.8	0.0	0.0	29.1	24.2	28.4	0.0	0	36.1	28.7	35.3	32.5	25.3	31.9
Ca^{2+}	0.4	0.0	2.2	1.4	0.3	0.1	2.8	2.0	2.3								
Fe^{2+3+}	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.2	0.3	0.4	0.2								
Al^{3+}	0.0		1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.8								
Cl	0.7	0.0	180.1	197.8	0.7	6.4	157.0	161.8	148.2	<0.7	<0.7	168.8	154.2	142.9	175.1	139.6	136.6
SO_4^{2-}	3.8	2.9	184.5	85.3	1.4	1.9	166.3	106.7	200.9	<0.5	<0.5	202.2	132.9	222.8	82.8	91.5	154.7
HCO_3^-	28.1	17.1	61.3	57.3	24.4	18.3	63.6	43.3	26.1	22.0	20.7	77.0	32.8	32.4	38.8	40.5	35.4
F	0.0	0.0	3.1	2.1	0.1	0.1	2.3	2.2	3.3	0.1	0.05	3.0	2.1	3.0	2.9	1.9	2.9
B	0.4		13.1	21.5	0.2	0.1	11.4	12.2	9.2	<0.5	<0.5	13.1	8.9	10.4	13.9	11.7	11.4
SiO_2	3.7	1.4	568.8	723.0	0.0	0.0	149.2	140.0	146.6	4.1	2.6	595.4	563.1	539.4	636.5	503.2	549.5
As	0.0	0.0	2.4	4.4	0.0	0.0	2.8	3.4	1.9								
CO_2	2116.2	1278.8	49.3	16.7	2197.9	577.3	143.4	125.9	165.5	1298.1	1257.5	149.0	196.3	20.9	80.8	136.2	365.6
H_2S	207.8	115.4	8.8	3.4	105.6	59.2	6.3	14.0	12.1	107.8	74.7	9.5	20.7	1.8	19.7	31.3	32.1
N_2	144.8	172.8	7.1	1.1	208.7	245.6	59.0	48.9	51.1	231.7	320.1	60.7	66.2	-	71.8	65.8	117.0
O_2	32.9	34.3	0.7	0.2	33.7	19.8	15.3	27.1	12.7	57.1	73.2	16.0	17.5	-	17.4	16.7	29.8

Измерения давления в двухфазном вододоминирующем геотермальном резервуаре (Верхне-Мутновский участок) проводятся с 1995 г (рис.2). До начала эксплуатации давление на глубине 950 м (абс. отм. -183 м) составляло около 44-46 бар. Спустя 4 месяца после начала эксплуатации Верхне-Мутновского участка с расходом более 80 кг/с давление резко понизилось до 28 бар и сохраняется на уровне 26.0-27.5 бар. Причиной такого резкого снижения давления может являться приток охлажденных вод из вышележащих горизонтов зоны неполного водонасыщения в двухфазный вододоминирующий геотермальный резервуар после начала эксплуатации. Предпосылками для такого перетока являются низкие уровни в геотермальном резервуаре (500-600 м ниже поверхности земли) и высокая проницаемость и емкость перекрывающих четвертичных вулканогенных отложений. Заметные на графике понижения давления до 2 бар могут быть связаны с увеличением водного питания резервуара в период снеготаяния (апрель-май), что также является признаком проникновения охлажденных вод в двухфазный вододоминирующий резервуар.

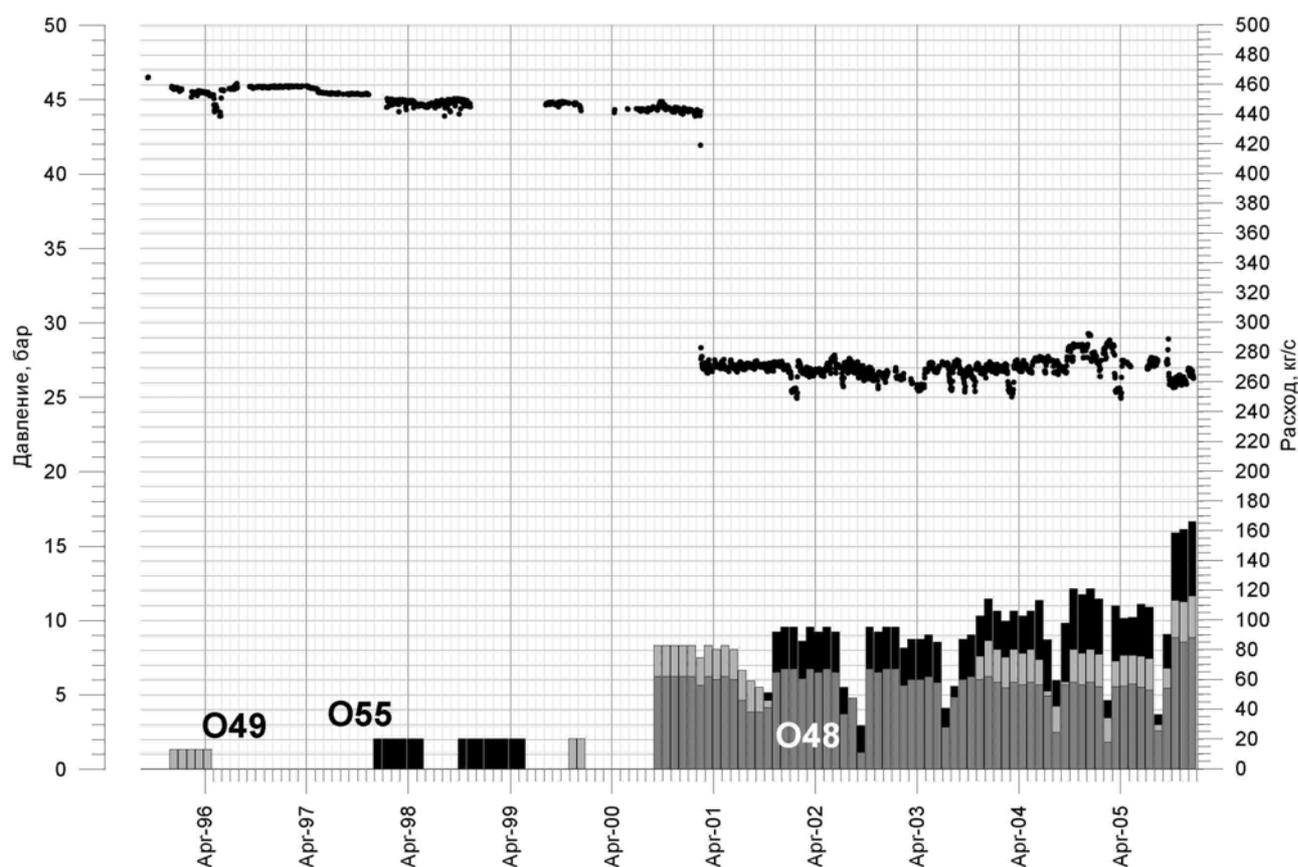


Рис.2 Изменение давления в скв. 30 (Верхне-Мутновский участок Мутновского геотермального месторождения). Давление в скважине измеряется Институтом вулканологии и сейсмологии ДВО РАН с использованием системы «капиллярная трубка» (Pruett Inc., США), установленной на глубине 950 м. Данные по отбору теплоносителя - АО «Геотерм».

Выводы:

(1) Совместный анализ газогидрохимических и термогидродинамических данных показывает, что в процессе эксплуатации Мутновского геотермального месторождения в двухфазный вододоминирующий геотермальный резервуар происходит приток воды из вышележащих водоносных горизонтов зоны неполного водонасыщения охлажденных метеорных и пароконденсатных вод. Оценка величины расхода этого притока и его распределения по площади месторождения, прогноз его влияния на параметры дальнейшей эксплуатации - являются задачами дальнейших исследований, от результатов которых во многом зависит обеспечение устойчивой эксплуатации Мутновских ГеоЭС и выяснение возможностей увеличения ее мощности в будущем.

(2) Анализ влияния других факторов формирования эксплуатационных запасов (эффект реинжекции, «двойной пористости» резервуара и др.) также необходим для обоснования устойчивой эксплуатации резервуара.

Литература:

1. Асаулов Г.М. и др. Отчет о результатах предварительной разведки на участке Дачный Мутновского месторождения парогидротерм с подсчетом запасов теплоносителя для обоснования проекта строительства первой очереди ГеоЭС мощностью 50 МВт (в 7 книгах). п. Термальный Камчатской обл., 1987.
2. Вакин Е.А., Кирсанов И.Т., Кирсанова Т.П. Термальные поля и горячие источники Мутновского вулканического района // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток: Изд-во ДВНЦ, 1976. С. 85-114.
3. Геотермические и геохимические исследования высокотемпературных гидротерм / Ред. Сугробов В.М. М.: Наука, 1986. 209 с.
4. Кирюхин А.В., Лесных М.Д., Поляков А.Ю. Естественный гидродинамический режим Мутновского геотермального резервуара и его связь с сейсмической активностью // Вулканология и сейсмология, 2002, №1, с.51-60
5. А.В.Кирюхин, В.Л. Леонов, И.Б. Словцов, И.Ф. Делемень, М.Ю. Пузанков, А.Ю. Поляков и др. Моделирование эксплуатации участка Дачный Мутновского геотермального месторождения в связи с обеспечением теплоносителем Мутновской ГеоЭС 50 МВт // Вулканология и Сейсмология № 5, 2005, с.19-44

