

рации рудных и нерудных компонентов в системе максимальны, по этому признаку нельзя отличить от руд, сформированных на других барьерах. Однако, даже если действительное число пародоминирующих рудообразующих гидротермальных систем в прошлом не превышало 5–7 % от общего числа систем, то нет причин не учитывать их роль в формировании крупных ртутных, колчеданных и других магматогенных гидротермальных месторождений.

#### Л и т е р а т у р а

- Варгафтик Н.Б.* Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Наука, 1972, с. 7–86.
- Веригин Н.Н., Голубев В.С., Шарапов В.Н.* Динамика теплообмена между магмой и вмещающими породами при фильтрации летучих. — Геология и геофизика, 1974, № 4, с. 71–78.
- Веригин Н.Н., Голубев В.С.* О генерировании пара в подземных пластах — коллекторах. — Докл. АН СССР, 1975, т. 223, № 6, с. 1355–1358.
- Вукалович М.П.* Термодинамические свойства воды и водяного пара. М.; Берлин: ГИТИМА, 1958. 245 с.
- Голубев В.С., Шарапов В.Н.* Динамика эндогенного рудообразования. М.: Недра, 1974. 266 с.
- Лапухов А.С.* Зональность колчеданно-полиметаллических месторождений. Новосибирск: Наука, 1975.
- Набоко С.И.* Гидротермальный метаморфизм в вулканических областях. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 172 с.
- Овчинников Л.Н.* Плутоногенные гидротермальные месторождения. — В кн.: Генезис эндогенных рудных месторождений. М.: Недра, 1968, с. 443–485.
- Паужетские горячие воды на Камчатке. М.: Наука, 1965. 208 с.
- Смирнов В.И.* Геология полезных ископаемых. М.: Недра, 1969. 678 с.
- Стырикович М.А., Хайбулин Н.Х.* Общие закономерности растворения веществ в водяном паре. — В кн.: Внутрикотловые физико-химические процессы. М.: Изд-во АН СССР, 1957, с. 65–69.
- White D.E., Muffler L.I., Truesdell A.H.* Vapor-dominated hydrothermal systems compared with hot water systems. — Econ. Geology, 1971, vol. 66, p. 75–97.

Н. Г. Сугрובה, Ю. М. Хаткевич

Институт вулканологии ДВНЦ АН СССР

## ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕРМОПРОЯВЛЕНИЙ В ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ ПАУЖЕТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Изучение теплового режима поверхностных термопроявлений в процессе интенсивного отбора перегретых вод может дать полезную информацию о направленности изменения режима гидротермальной системы в целом и позволяет надежнее выделить субповерхностные факторы, влияющие на него.

Изменение термопроявлений под влиянием отбора жидкости из скважин было установлено в период опытной эксплуатации месторождения в 1963 г. по данным комплексных режимных наблюдений. В частности,

было отмечено изменение температуры на глубине 1 м поверхностных термоаномалий — термальных полей, которое было зафиксировано в изменении их площадей по выбранным изотермам 20, 50 и 70°. Нарушение режима естественной гидротермальной активности, как было показано В.М. Сугробовым (1965), произошло за счет снижения пьезометрического уровня термального водоносного комплекса, повлекшего за собой более интенсивное отделение пара от перегретой воды.

Разведанное и эксплуатирующееся месторождение представляет часть Паужетской гидротермальной системы, приуроченной к глубинной термоаномалии Камбального хребта, и тяготеет к очагу разгрузки высокотемпературных гидротерм в долине р. Паужетки. Термальные воды, заключенные в толще четвертичных туфов (Паужетская свита) и туфобрекчиях и песчаниках анавайской серии, движутся со стороны Камбального хребта (область теплового и водного питания системы) к долине р. Паужетки. Направление движения установлено по закономерному росту отметок пьезометрического уровня, температуры и минерализации гидротерм от очага разгрузки к осевой части хребта (Паужетские горячие воды..., 1956). На пути термальных вод от области питания к основному очагу разгрузки в местах ослабленной водоупорной кровли наблюдается частичная разгрузка вод и пара, формирующая поверхностные термальные поля. В осевой части Камбального хребта такие поля характеризуются выходами парогазовых струй, кипящих грязевых котлов, участками парящего грунта. В долине Паужетки поверхностная термоаномалия, самая большая по площади, изобилует разнообразными формами термопроявлений: источниками, гейзерами, паровыми струями, кипящими котлами.

В период опытно-эксплуатационных выпусков пароводяной смеси (1962—1963 гг.) наблюдалось увеличение участков, оконтуренных изотермой 50°C на глубине 1 м, — Верхнего термального поля и термального поля руч. Быстрого (рис. 1), расположенных непосредственно на площади водозабора. На этих же полях было отмечено образование новых паровых струй и грязевых котлов.

Естественно было предположить, что с течением времени и ростом водоотбора из скважин (расширением эксплуатирующейся площади месторождения) изменения гидродинамических условий будут происходить во всей системе, включая область теплового питания.

Поэтому в круг режимных наблюдений были включены также наблюдения за изменением площади термальных полей приосевой части Камбального хребта.

Для определения площади термальных полей периодически проводились термометрические съемки с измерением температуры грунта на глубине 1 м по сетке 20x20 м. Одновременно на карту наносились все замеченные термопроявления. За критерий оценки состояния поля и сопоставлений его состояния с прошлыми годами бралась площадь прогретого участка, оконтуренного изотермами 50 и 70° (вообще термальные поля оконтуривались по изотерме 20°). Однако многолетние наблюдения показали, что на площади полей, ограниченных изотермами 20 и 50°C температуры на указанной глубине испытывают заметные сезонные колебания, амплитуда которых достигала 11°C. Повторные же термометрические

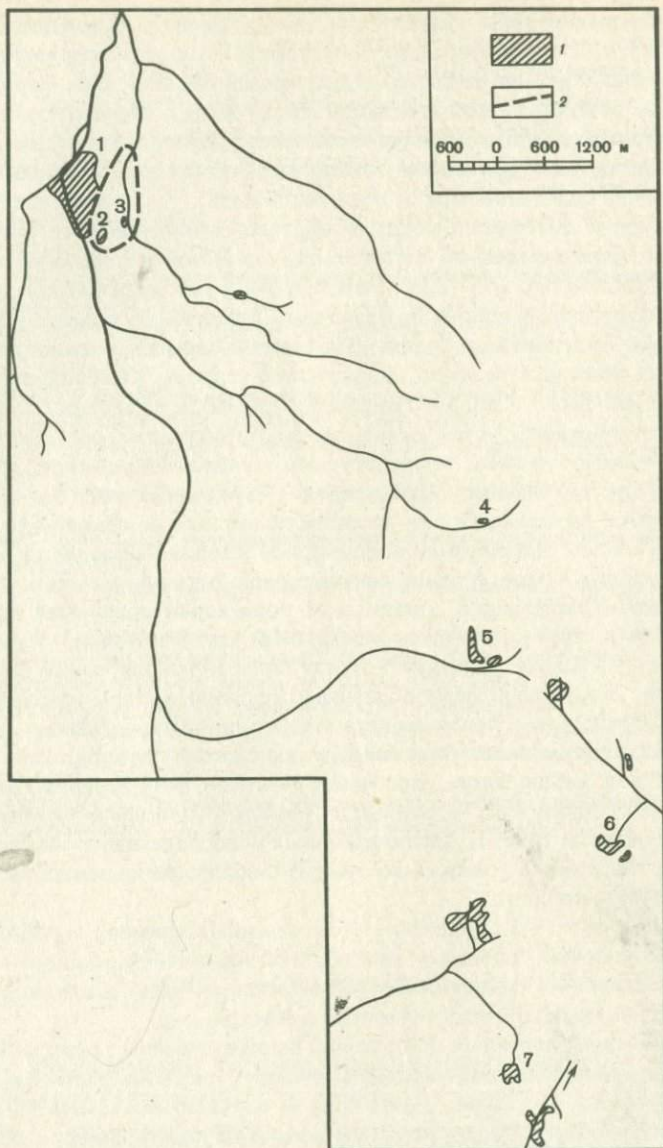


Рис. 1. Схема расположения термальных полей Паужетского месторождения

1 — Термальные поля: 1 — Основное Паужетское; 2 — Верхнее; 3 — Поле долины руч. Быстрый; 4 — I группы Северо-Камбальных струй; 5 — II группы Северо-Камбальных струй; 6 — I группы Восточно-Камбальных струй; 7 — II группы Южно-Камбальных струй; 2 — схематический контур эксплуатируемого участка

Таблица 1

Результаты определения площадей термоаномалий ручья Быстрый, Верхнего и Основного Паужетского полей

Дата	Основное Паужетское поле		Долина руч. Быстрый		Верхнее Паужетское поле	
	Площадь (м <sup>2</sup> ) по изотермам 70 и 50°С					
	70°	50°	70°	50°	70°	50°
Лето—осень, 1957	19500	59250	—	~700 (по фотографии)	1800	6000
Июнь, 1964	—	—	70	590	4300	6160
Ноябрь, 1968	—	—	1437	2025	—	—
Июнь, 1970	28750	68000	—	—	—	—
1973	30750	71750	1100	1600	—	—
Октябрь, 1976 г.	—	—	1150	1900	7900	10600

съемки проводились в разное время и в неодинаковых метеоусловиях. До проведения разведочных работ термометрическая съемка была проведена на основном (Паужетском) термальном поле.

В период опытно-эксплуатационных выпусков площадные измерения температуры были проведены на Верхнем термальном поле, а через год после их окончания здесь же и на термальных полях Камбального хребта — I и II группах Северо-Камбальных струй, II группы Южно-Камбальных паровых струй и I группы Восточно-Камбальных струй (см. рис. 1). На этих же полях эпизодически выполнялись термометрические съемки в

Таблица 2

Результаты определения площадей термоаномалий Камбального хребта

Дата	I группа Северо-Камбальных струй		II группа Северо-Камбальных струй		II группа Южно-Камбальных струй		I группа Восточно-Камбальных струй	
	Площадь (м <sup>2</sup> ) по изотермам 70 и 50°С							
	70°	50°	70°	50°	70°	50°	70°	50°
Июнь, 1964	2400	5120	6560	13 020	3000	5150	—	—
Июль, 1969	3490	6240	12 250	18 210	4740	8270	Август 4188	12 744
Сентябрь, 1970	3900	5340	—	—	3100	6400	—	—
Июль, 1971	1820	4610	—	—	1930	4990	—	—
Июль, 1975	2280	3630	11 190	16 190	4120	7550	Август 4150	10 640

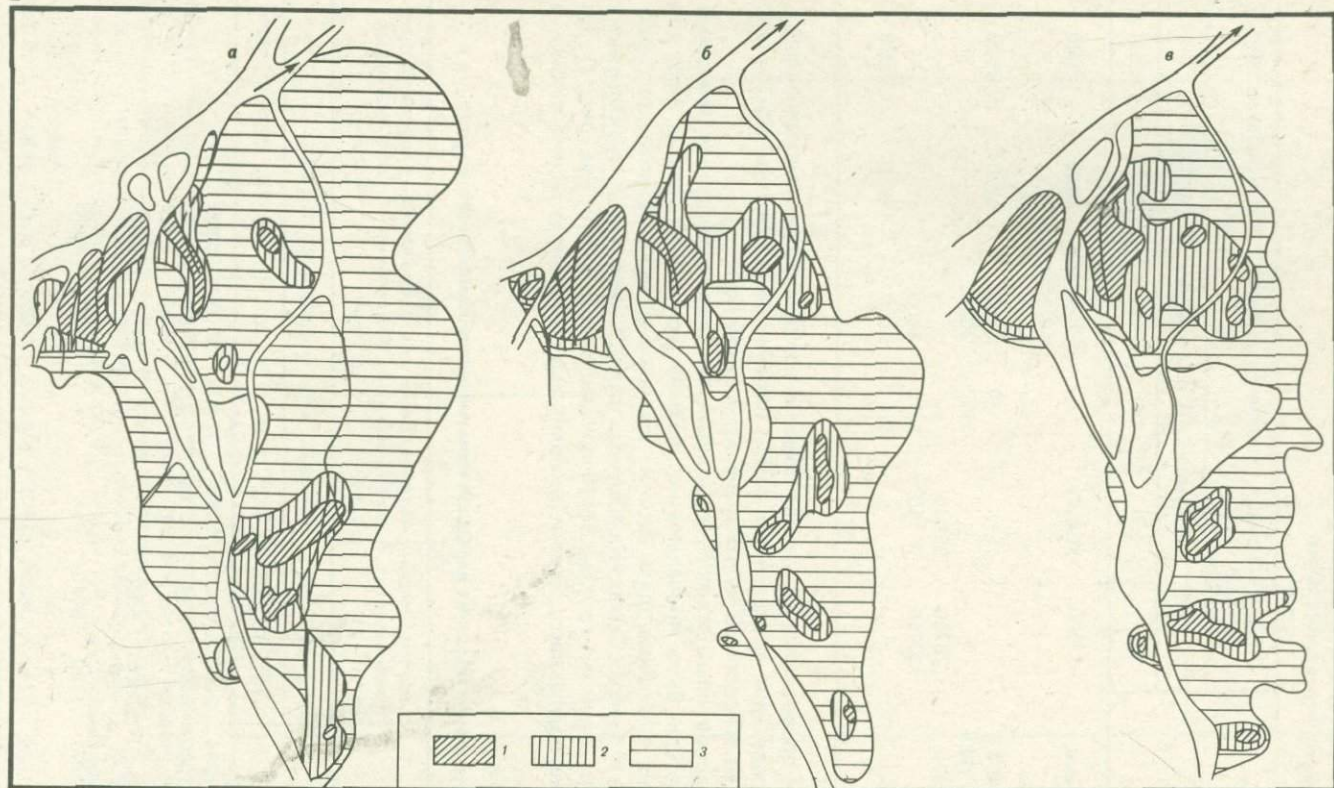


Рис. 2. Термометрические карты Основного Паужетского поля

а — До эксплуатации месторождения (1957 г.); б, в — во время эксплуатации (1970 и 1973 гг.): площади с температурами на глубине 1 м: 1 —  $>70^{\circ}$ ; 2 — от 50 до  $70^{\circ}$ ; 3 — от 20 до  $50^{\circ}$

период эксплуатации месторождения для обеспечения работы Паужетской ГеоТЭС (1967–1976 гг.).

Результаты определения площадей термального поля руч. Быстрый, а также Верхнего и Основного Паужетских полей по данным термометрических съемок сведены в табл. 1, а по термальным полям осевой части Камбального хребта — в табл. 2. Как видно из табл. 1, на Основном Паужетском поле площади прогрева увеличились по сравнению с 1957 г., хотя визуально поверхностная гидротермальная деятельность значительно уменьшилась. Это выразилось в уменьшении числа кипящих котлов, парогазовых струй в руслах теплых ручьев, впадающих в Левую Паужетку, в исчезновении такого кипящего источника, как Парящий I с дебитом 10 л/с.

Кроме того, сократилась общая площадь поля, оконтуренная изотермой  $20^{\circ}$ , и наметилась тенденция к его разделению (рис. 2). Уменьшение общей площади поля, уменьшение дебитов источников или прекращение их деятельности несомненно связаны с понижением пьезометрической поверхности напорного водоносного комплекса и, как следствие, с уменьшением естественной разгрузки гидротерм. Последнее приводит к сокращению площади растёка термальных вод в грунтовом потоке, что приводит к сокращению (уменьшению) температуры грунта. Повышение температуры и соответственно площади с изотермой  $50$  и  $70^{\circ}\text{C}$  происходило, видимо, на участках трещинных зон, по которым в случае снижения пьезометрического уровня ниже поверхности Земли может подниматься пар, который при конденсации нагревает грунт.

Наибольшие изменения отмечены в тепловом режиме поля руч. Быстрый и Верхнего поля, находящихся в непосредственной близости от эксплуатационных скважин. Площадь первого увеличилась в 16 раз по изотерме  $70^{\circ}$  на метровой глубине, площадь Верхнего поля — в 4 раза по той же изотерме. Активизировалась и гидротермальная деятельность на поверхности: появились новые котлы, паровые струи.

Вероятно, зафиксированные изменения в температурном режиме термальных полей вблизи водозабора можно объяснить усилением пароотделения при снижении пластового давления за счет отбора воды по аналогии с механизмом, описанным ранее в статье В.М. Сугрובה (1965). Что касается термальных полей Камбального хребта, то в их тепловом режиме не отмечено направленных изменений (см. табл. 2). Зафиксированные колебания в площадях высокотемпературных зон объясняются, по нашему мнению, неточностями картирования этих площадей в связи с непостоянством точек измерения температуры и проведением работ в различные сезоны. Сам факт относительного постоянства размеров термальных полей Камбального хребта пока можно объяснить отсутствием влияния эксплуатации скважин на тепловой режим полей, приуроченных к областям теплового питания гидротермальной системы.

**В ы в о д ы.** Режимные наблюдения на термоаномалиях Паужетской гидротермальной системы в период многолетней эксплуатации показали, что водозабор термального комплекса оказал влияние лишь на ограниченных участках, лежащих в непосредственной близости к эксплуатационным скважинам, и не распространил своего влияния на область питания, где находятся термоаномалии осевой части хребта.

Паужетские горячие воды на Камчатке. М.: Наука, 1956, с. 3—206.

Сугробов В.М. Влияние опытной эксплуатации Паужетского месторождения на поверхностные термоявления и режим кипящих источников. — Бюл. вулканол. станций, 1965, № 39, с. 47—59.

Т. Б. Гребенщикова, В. М. Фомин

ВСЕГИНГЕО

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕРМОМИНЕРАЛЬНЫХ ВОД АРТЕЗИАНСКИХ БАССЕЙНОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ (на примере Сырдарьинского артезианского бассейна)

Несмотря на большие достижения в области теоретических представлений о динамике подземных вод, массо- и теплопереносе, вопрос о формировании подземных вод как о комплексном (многофакторном) процессе с количественным и качественным его описанием для реальных структур является довольно проблематичным.

Нередко традиционные методы исследований ограничиваются в основном качественной оценкой гидрогеологических условий водонапорных систем. Возможности исследования артезианских бассейнов с точки зрения установления основных характеристик и закономерностей формирования подземных вод в региональном аспекте могут быть существенно расширены при использовании методов математического моделирования. При этом моделирование выступает не только как расчетный метод, а в большей мере как способ анализа и обобщения всего комплекса геолого-гидрогеологических материалов, позволяющий глубже изучать гидрогеологические объекты и происходящие в них процессы. В связи с этим возникает возможность использования моделирования для построения, проверки и уточнения гидродинамических, гидрохимических и температурных полей, как с точки зрения параметрических их характеристик и граничных условий, так и увязки взаимодействия этих полей и проверки гипотез формирования различных типов подземных вод. Использование моделирования для анализа региональных гидрогеологических условий формирования подземных вод требует специального обобщения исходной информации и представления ее в виде серии специализированных карт.

Необходимый набор карт и особенности их составления для изучения региональных условий формирования термальных вод рассматриваются на примере. Сырдарьинский бассейн ограничен на севере и востоке хребтами Каратау и отрогами Западного Тянь-Шаня, а на юге и юго-западе Центрально-Кызылкумской зоной поднятй и Амударьинским валом. На север и северо-запад бассейн открыт в сторону Аральского моря. В