

А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р
ЛАБОРАТОРИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ
ИМ. Ф. П. САВАРЕНСКОГО

Гидрогеотермические
условия
верхних частей
земной коры

(Отдельный оттиск)

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
Москва 1964

В. М. Сугробов

ПАУЖЕТСКИЕ ГИДРОТЕРМЫ КАМЧАТКИ КАК ПРИМЕР ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ВОДОНАПОРНОЙ СИСТЕМЫ

В результате работ, проводившихся в районе Паужетских термальных источников, получен большой фактический материал по структуре очага разгрузки гидротерм, их температуре, химическому составу и ресурсам. Общие геологические условия разгрузки освещены в статье В. В. Аверьева (1961). Здесь же рассматриваются только данные, касающиеся условий движения потока высокотемпературных вод.

Изученный участок месторождения расположен в долине р. Паужетки, на месте естественных выходов термальной воды в виде кипящих источников и гейзеров, у северо-западного подножия Камбального хребта. Роторная скважина вскрыла здесь на глубине 650 м третичные породы, представленные туфопесчаниками и алевролитами, на которых залегает четвертичная туфовая толща. Она образована (снизу вверх) пятидесятиметровой пачкой основных туфобрекчий, дацитовыми витрокристаллокластическими туфами мощностью 200 м, пачкой андезитовых туфобрекчий мощностью 120 м, андезитовыми агломератовыми туфами мощностью 220 м и пачкой алевролитовых и алевропсаммитовых пепловых туфов мощностью 50—70 м. Три последние пачки объединяются в паужетскую свиту. Как третичные, так и четвертичные породы залегают практически горизонтально.

Высокотермальные воды, как показали результаты поинтервального гидрогеологического опробования скважины, содержатся во всей толще вскрытых четвертичных и третичных пород, однако водообильность последних различна и связана с их различной проницаемостью.

Агломератовые туфы, залегающие на месте заложения скважины на глубине 58—263 м, оказались наиболее обводненными и дали наибольший приток воды с высоким теплосодержанием (170 ккал/кг).

Колонковые скважины, посредством которых в основном производилась разведка месторождения, вскрывали, как правило, только толщу агломератовых туфов, причем в трех из них было проведено поинтервальное опробование верхней части разреза, сложенного алевропелитовыми и алевропсаммитовыми пепловыми туфами.

По результатам опробования роторной и первых колонковых скважин была принята следующая схема гидрогеологического разделения пород, залегающих в пределах месторождения. К аллювиальным валунно-галечниковым отложениям приурочен мощный грунтовый поток, распространенный повсеместно за исключением небольших междуречных участков Правой илевой Паужетки близ их слияния. Слабопроницаемые алевропелитовые и алевропсамитовые пепловые туфы, местами с небольшими прослоями агломератовых туфов, представляют собой верхний относительный водоупор. Нижележащие агломератовые туфы с прослоями слабопроницаемых туфобрекчий обводнены, характеризуются наибольшей водообильностью и образуют основной водоносный напорный комплекс. Снизу агломератовые туфы подстилаются весьма слабопроницаемыми относительно водоупорными туфобрекчиями основного состава и кристаллокластическими туфами. Третичные песчаники и алевролиты образуют второй водоносный комплекс, давший незначительный водоприток в скважину.

Опробование остальных колонковых скважин глубиной 300—400 м, вскрывших лишь первый продуктивный водоносный комплекс, подтвердило эту схему. Интервал пепловых туфов и туффитов в большинстве случаев полностью перекрывался обсадной колонной труб с цементацией затрубного пространства, и зачастую забой скважины не доходил до подошвы агломератовых туфов, т. е. открытый интервал для поступления воды в скважины совпадал преимущественно с толщиной агломератовых туфов. Но все колонковые скважины вскрыли высокотермальные воды и оказались в той или иной степени производительными.

Такое гидрогеологическое разделение пород подтверждено данными термометрии по скважинам. В интервале залегания пепловых туфов и туффитов температура быстро нарастает до их подошвы. В толще агломератовых туфов температура достигает наибольших значений и амплитуда температур от кровли до подошвы незначительна, что связано с насыщением пор и трещин перегретой водой.

ТРЕЩИННЫЕ ЗОНЫ И ВОДООБИЛЬНОСТЬ ПОРОД НА РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Высокотермальные воды в толще агломератовых туфов в основном циркулируют по трещинам, связанным, видимо, с тектоническими нарушениями. Уже первые исследователи Паужетских источников обратили внимание на закономерное расположение характерных выходов термальной воды, возможно, указывающих на положение тектонических нарушений. В 1956 г. В. В. Иванов и А. С. Нехорошев на основании глазомерной термометрической съемки и расположения крупных пароводяных источников и гейзеров предположительно выделили два тектонических разлома.

Первый, северо-восточного простирания, намечался по линии, соединяющей источники Парящий 2, Пульсирующие, Парящий 1 и Грязевое озеро (азимут СВ 45°); второй, северо-западного простирания — по линии, соединяющей Гейзер 1 и источник Парящий 1 (азимут СЗ 315°), причем предполагалось, что падение разломов крутое, приближающееся к вертикальному.

Скважина 4, пробуренная у подножия правой высокой террасы р. Паужетки, на продолжении линии предполагаемого разлома северо-восточного простирания вскрыла крупные трещины и оказалась наиболее производительной (дебит 40 кг/сек при свободном фонтанировании). Это подтвердило наличие зоны нарушений северо-восточного простирания.

На северном участке месторождения эта зона морфологически подчеркивается уступом высокой правой террасы реки. Последующее бурение в пределах предполагаемого разлома дало возможность определенно говорить об очень крутом, юго-восточном падении зоны нарушения. Роторная скважина глубиной 800 м , расположенная в 30 м к северо-западу от линии, соединяющей местоположение пароводяных источников, а также колонковая скважина 12 глубиной 307 м , расположенная в 75 м к юго-востоку от этой линии, трещинной зоны не вскрыли. Только скважина 16, пройденная под углом 7° к вертикали и отстоящая от источника Пульсирующего в 25 м к юго-востоку, специально заданная для выяснения пространственного положения трещинной зоны, подсекла ее на глубине 190 м . Угол падения тектонического нарушения, определенный таким образом, равен приблизительно $87\text{—}88^\circ$.

Помимо этой тектонической зоны — основной, по материалам гидротермической съемки намечаются еще четыре термальные линии, приблизительно ей параллельные, с которыми предположительно связаны тектонические нарушения (рис. 1). Бурением разведано только самое южное нарушение, которое намечается по термальной линии, соединяющей место выхода паровых струй у подножия высокой террасы р. Паужетки (источник Южный), центральную часть Верхнего термального поля и паровые струи в овраге Быстром. На продолжении этой линии, на левом берегу р. Паужетки, также наблюдаются мелкие выходы паровых струй.

На этой линии была заложена скважина 14, которая в интервале $316\text{—}331 \text{ м}$, видимо, вошла в трещинную зону. Об этом свидетельствуют сильное поглощение бурового раствора и плохой выход зерна в этом интервале, а также последовавший вскоре после проходки его пароводяной выброс. Большая производительность скважины ($20,8 \text{ кг/сек}$ при свободном фонтанировании), высокое тепло-содержание пароводяной смеси, приближающееся к максимальной температуре пород, свидетельствуют о концентрированном поступлении воды в скважину. Направление и угол падения этой трещинной зоны разведочными работами не определены, но, очевидно, они такие же, как и для основной трещинной зоны.

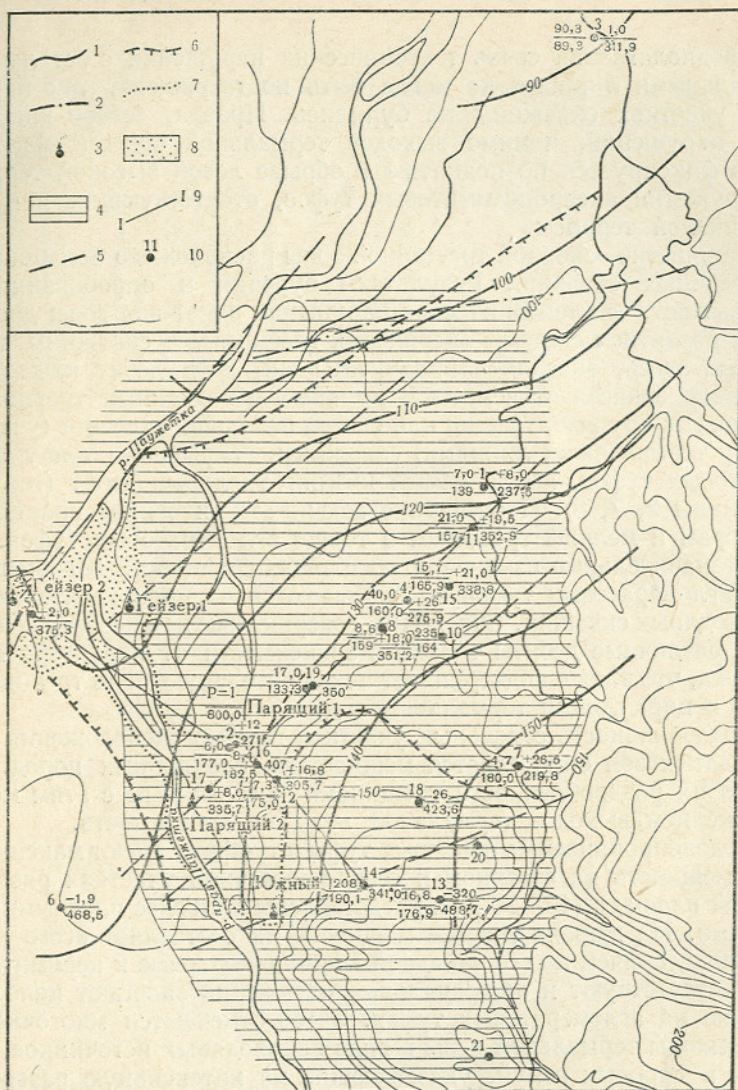


Рис. 1. — схема пьезометрической поверхности водоносного комплекса паужетской свиты

1 — пьезозигзаги; 2 — северная граница распространения высокотермальных вод с температурой более 100°C ; 3 — крупные кипящие источники; 4 — площадь распространения относительно водоупорных отложений (алевролитовых и алевропсаммитовых пепловых туфов), перекрывающих водоносный комплекс; 5 — термальные линии, показывающие направление предполагаемых трещинных зон; 6 — граница зоны самозливающих скважин; 7 — участок активной разгрузки термальных вод, выделенный по местоположению термальных источников; 8 — участок рассредоточенной разгрузки термальных вод в местах отсутствия верхнего водоупора; 9 — линия геозотермического профиля; 10 — скважина, цифра сверху — номер скважины; слева: в числителе — дебит, кг/сек при свободном фонтанировании (давление на устье 1 *ата*), в знаменателе — энthalпия пароводяной смеси на устье, ккал/кг; справа: в числителе — статический уровень относительно устья, м; в знаменателе — глубина скважины, м

Предполагаемая связь тектонических нарушений с остальными термальными линиями не могла быть подтверждена, так как на этих участках скважины не бурились. Правда, северо-западная зона нарушений, помимо выходов термальной воды (Гейзер 2), четко фиксируется по поднятию в обрыве левой высокой террасы р. Паужетки алевропсаммитовых туфов, отсутствующих в пределах низкой террасы.

На участке основной трещинной зоны расположено большинство разведочных скважин. Результаты бурения и опробования их показывают, что тектоническое нарушение имеет вид зоны дробления с развитием системы оперяющих трещин. Все скважины, заложенные здесь, оказались продуктивными, хотя дебит каждой из них явно зависел от вскрытия крупных обводненных трещин.

Вне зон крупных трещин или систем небольших трещин (участки между термальными линиями) скважины, вскрывшие толщу агломератовых туфов, имели самый низкий удельный дебит (табл. 1, скважины 2, 7, 8). Поступление воды в эти скважины происходит по порам и мелким трещинам в толще агломератовых туфов.

Незначительные изменения по площади мощности водовмещающих агломератовых туфов не сказываются на производительности пароводяных скважин. Скважины, совершенные или несовершенные, дают различные дебиты только в зависимости от характера водопритока, что также подчеркивает исключительную роль трещиноватости в циркуляции термальных вод.

Водообильность отдельных участков помимо расположения трещиноватых зон определяется мощностью водоупорных пород, степенью их раздробленности трещинами и связанным с этим местоположением выходов термальной воды на поверхность.

Водонепроницаемые пепловые туфы и туффиты имеют максимальную мощность на северном и северо-восточном участках разведываемой площади (40—70 м) и представлены наиболее плотными разностями. На южном участке мощность их составляет всего лишь 10—20 м, причем по его западной границе пепловые и псаммитовые туфы отсутствуют и аллювиальные отложения залегают непосредственно на агломератовых туфах. Здесь отмечаются многочисленные выходы термальной воды в виде пароводяных источников, гейзеров и паровых струй, указывающие на интенсивную разгрузку подземных вод. На северном участке месторождения отсутствуют какие-либо выходы термальной воды, что, конечно, связано с большей мощностью пепловых туфов и меньшей степенью их трещиноватости.

Скважины, расположенные на южном участке, захватывают, видимо, лишь часть потока, в значительной степени разгружающегося по трещинам в маломощном водоупоре, и характеризуются низкими дебитами, даже если они вскрывают трещинную зону. В этой связи интересно отметить тот факт, что там, где относительный верхний водоупор отсутствует (см. рис. 1), наблюдаются

Показатели водоносности агломератовых туфов паужетской свиты

№ скважины (в числителе) и ее глубина, м (в знаменателе),	Глубина залегания водоносного комплекса, м	Мощность водоносного комплекса, м	Статический уровень относительно устья (в числителе) и его абсолютная отметка (в знаменателе), м	Дебит при давлении пара на устье 2 атм, кг/сек	Удельный дебит, кг/сек	Коэффициент проницаемости, барси	Температура на верхней и нижней границах комплекса, °С	Примечание
$\frac{2}{271}$	52,0	206	$\frac{+12,0}{126,6}$	3,9	0,03	0,0035	—	
$\frac{4}{275,9}$	108,0	162,1	$\frac{+26,0}{138,2}$	33,0	0,25	0,045	167—169	Водоприток преимущественно по крупным трещинам в интервале 210—271,9 м
$\frac{7}{219,3}$	67,0	152,8	$\frac{+26,5}{154,2}$	3,0	0,02	0,005	177—193,4	
$\frac{8}{351,2}$	100,0	211,5	$\frac{+18,0}{133,15}$	6,85	0,044	0,008	170,7—176,3	
$\frac{10}{357,4}$	85,0	232	$\frac{+18,0}{136,8}$	20,2	0,33	0,048	163,5—179	Водоприток преимущественно в интервале 100—216 м
$\frac{11}{352,9}$	87,0	244,0	$\frac{+19,5}{130,29}$	16,6	0,15	0,155	159—163,5	То же, 87—200 м
$\frac{14}{342,0}$	61,3	270,2	—	17,0	—	—	172—195	То же, 316—331,5 м
$\frac{13}{488,7}$	100,0	251,0	$\frac{-31,7}{147,4}$	15,3	—	—	176—199	

многочисленные, но очень малодобитные источники, располагающиеся довольно бессистемно. Сосредоточенные выходы термальной воды в виде пароводяных источников с большим дебитом (Парящий 1—10 л/сек, Парящий 2—4,5 л/сек, Пульсирующие) располагаются там, где распространены маломощные водоупорные отложения, разбитые крупными трещинами.

Все вышеизложенное показывает, что высокотермальные подземные воды в пределах Паужетского месторождения циркулируют в толще агломератовых туфов, причем проницаемость этих туфов в большой степени связана с развитием трещин.

Коэффициенты проницаемости, определенные по данным откачек (выпусков пароводяной смеси из скважин), характеризуют эффективную проницаемость водоносного пласта в целом с учетом пористости пород и их трещиноватости. Коэффициенты проницаемости, рассчитанные по данным откачек из скважин 2, 7, 8 (см. табл. 1), не вскрывших крупных трещин, в какой-то мере характеризуют проницаемость собственно агломератовых туфов. Проницаемость отложений, разбитых крупными трещинами (такие породы вскрыты скважинами 4, 10 и 11) почти в 10 раз больше проницаемости слабо-трещиноватых пород. Но даже проницаемость трещиноватых отложений, как следует из приведенных данных, очень мала и идентична проницаемости таких пород, как, например, суглинки.

Относительно большие дебиты скважин в данном случае можно объяснить повышенной скоростью фильтрации в связи с уменьшением вязкости фильтрующейся термальной воды. Например, при температуре 160—180° С в интервале залегания обводненных пород коэффициент динамической вязкости составляет 0,17—0,15 *сантимуазов*. Это увеличивает скорость фильтрации термальных вод при прочих равных условиях по сравнению с холодными водами в пять—шесть раз в соответствии с формулой

$$V = k_{\text{пр}} \frac{\gamma}{\mu} I,$$

где V — скорость фильтрации; $k_{\text{пр}}$ — коэффициент проницаемости; μ — вязкость; γ — объемный вес; I — гидравлический уклон.

УСЛОВИЯ ДВИЖЕНИЯ И РАЗГРУЗКИ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД

Высокотермальные подземные воды, заключенные как в крупных трещинах, сопряженных с тектоническими нарушениями, так и в мелких трещинах и порах в толще агломератовых туфов, характеризуются единой пьезометрической поверхностью и образуют гидравлически единый водоносный комплекс. Абсолютные отметки статических уровней в скважинах, заложенных в толще туфов, закономерно изменяются на разведываемом участке в соответствии с рельефом. Они уменьшаются к долине р. Паужетки и по ее падению. Статические уровни в скважинах, имеющих приблизительно одинаковые гипсометрические отметки устьев и располагающихся на одинаковых элементах рельефа, устанавливаются почти на равных высотах независимо от степени трещиноватости водоносных пород.

Некоторое повышение статического уровня в скважинах, вскрывающих крупные трещины, связано с тем, что напор обуславливается пластовым давлением в интервале вскрытия трещин, тогда как у скважин с иными условиями водопритока напор определяется средним пластовым давлением.

Опытные выпуски пароводяной смеси из скважин, сопровождаемые наблюдениями за изменением статического давления (уровня)

в смежных закрытых скважинах, показали, что пластовое давление уменьшается от действующей скважины по всем направлениям довольно равномерно. Это подтверждает гидравлическую связь обводненных трещин и пор толщи агломератовых туфов.

Статический уровень в скважинах, расположенных на низких террасах р. Паужетки, на 10—25 м превышает поверхность земли. Исключением является скважина 3, заложенная за пределами термального потока, и скважина 6. В скважинах, пройденных на правой высокой террасе р. Паужетки, статические уровни устанавливались ниже устья.

По данным измерений статического уровня в скважинах построена схема пьезометрической поверхности водоносного комплекса паужетской свиты (см. рис. 1). Для построения схемы были использованы данные о статических уровнях, определенных по статическому давлению или непосредственным измерением хлопущкой, так как температура воды, вскрываемой скважинами, а следовательно, и объемный вес ее были приблизительно одинаковы. Исключение составляет только скважина 3, температура на забое которой составила всего лишь 74° С. Сравнение статических уровней и построение карты пьезоизогипс на большей территории, где распространены термальные и холодные подземные воды, характеризующиеся различными объемными весами, очевидно, должно производиться по приведенным давлениям и приведенным уровням.

Движение воды происходит с юго-востока на запад и северо-запад к долине р. Паужетки и затем на север по направлению падения долины. Гидравлический уклон, определенный по расстоянию между пьезоизогипсами, равен 0,05.

Долина р. Паужетки является естественной дренажной по отношению к водоносному комплексу паужетской свиты и, видимо, третичному водоносному комплексу. Это доказывается падением отметок пьезометров в скважинах в сторону реки, выполаживанием (вогнутостью) пьезометрической поверхности на участке долины. Интенсивная разгрузка термальных вод происходит на южном участке долины, где наблюдаются многочисленные кипящие источники, гейзеры и паровые струи. Скрытая разгрузка термальных вод, видимо, осуществляется и на северном участке долины р. Паужетки, как показывает положение пьезоизогипс, но в значительно меньшей степени, чем на южном участке.

Имея преимущество по сравнению с холодными или менее нагретыми водами в фильтрации по порам и трещинам, термальные воды на этом участке препятствуют разгрузке холодных или менее нагретых вод и сохраняют высокую температуру. Уменьшение температур в зоне водовмещающих пород за пределами потока наиболее нагретых вод связано с разбавлением их холодными пресными водами, которые, окружая поток, создают с ним единую гидродинамическую систему. Это подтверждают данные по скважине 3, пробуренной за северной границей месторождения и вскрывшей

слабоминерализованную воду более низкой температурой (74° С на глубине 300 м). Приток термальных вод с высокой температурой на северный участок месторождения, несмотря на лучшие фильтрационные свойства водоносных отложений, незначителен в связи с трудностью разгрузки их через водоупорные отложения.

Значительное превышение статического уровня над поверхностью земли в скважинах в пределах потока высокотермальных вод, обуславливающее интенсивную разгрузку в зоне дренирования, связано не только с пластовым давлением, но и с тем, что пластовое давление уравнивается большей высотой столба нагретой воды с объемным весом меньше единицы. Влияние изменения объемного веса на положение статического уровня можно показать на примере скважины 8.

Определим пластовое давление по формуле

$$P_{пл.} = P_{ст.} + \frac{h_{ст.} \gamma}{10},$$

где $P_{ст.}$ — избыточное давление на устье закрытой скважины, атм; $h_{ст.}$ — статический столб воды в скважине высотой от середины фильтра (интервал водопритока) до устья, в данном случае = 224 м; γ — объемный вес воды.

Более точно пластовое давление определяется с учетом изменения объемного веса воды с глубиной

$$P_{пл.} = P_{ст.} + \frac{h_1 \gamma_1}{10} + \dots + \frac{h_n \gamma_n}{10},$$

где h_1, h_n — высота столба воды в скважине, для которого по данным термометрии и таблицы определено среднее значение удельного веса γ_1, γ_2 и т. д.

Исходные данные для расчета пластового давления приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Данные для расчета пластового давления

Высота столба воды в скважине (h), м	Интервал столба воды в скважине, м	Объемный вес воды (γ), г/см ³	Средняя температура в выделенном интервале, °С
20	0—20	0,997	70
20	20—40	0,930	135
20	40—80	0,920	147
20	80—100	0,913	155
20	100—120	0,910	157
144	120—244	0,907	160

$P_{пл} = 1,8 + 1,95 + 1,96 + 1,87 + 1,826 + 1,82 + 11,2 = 24,26 \text{ ат.}$

Данному пластовому давлению будет соответствовать столб воды высотой 242,6 м с объемным весом, равным 1. Отсюда получается, что статический уровень в скважине, заполненной водой с объемным весом 1, находился бы на 1,4 м ниже устья (244 м — 242,6 м = 1,4 м) и на 19,4 м ниже по сравнению с измененным в данных условиях (+18,0 м).

Направление движения термальных вод четко вырисовывается также на геозотермическом профиле (рис. 2)¹. Все скважины в пределах разведываемого участка вскрыли на глубине перегретые воды, температура которых на интервале водопритока колебалась от 152 до 200° С.

Несмотря на их высокую температуру, в толще агломератовых туфов, залегающих на глубине 100—300 м, они находятся в жидком состоянии, так как гидростатическое давление здесь намного превышает давление насыщенного пара.

Максимальная температура воды была зафиксирована в скважине 13—200 и скважине 14—195° С на юго-восточном участке месторождения. Минимальная температура наблюдалась в скважинах, оконтуривающих месторождение с северо-запада, — 6-й и 5-й (157 и 152° С). Температура, как видно, уменьшается по направлению движения термальных вод, причем, по скважинам Р-1 и 5 установлено снижение температуры с глубиной.

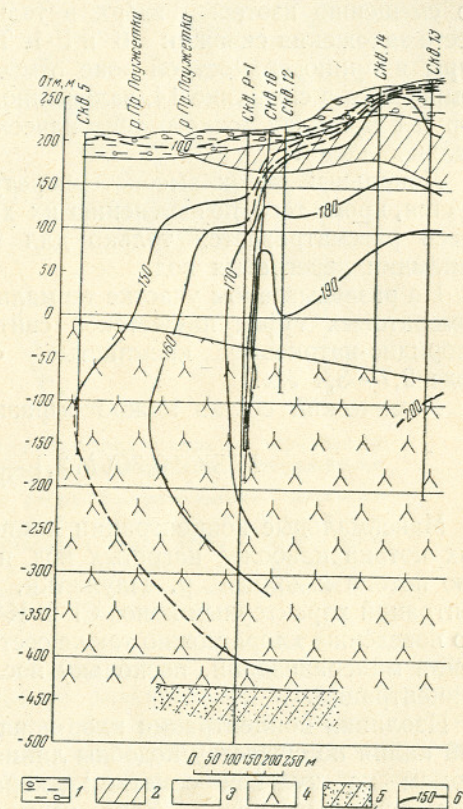


Рис. 2. Геозотермический профиль по линии I—I:

- 1 — аллювиально-пролювиальные отложения;
- 2 — верхний относительный водоупор (алевропелитовые и алевросаммитовые пепловые туфы);
- 3 — обводненные агломератовые туфы; 4 — нижний относительный водоупор (андезитовые туфобрекчии, кристалловитрокластические дацитовые туфы); 5 — третичные туфогенные песчаники;
- 6 — изотермы.

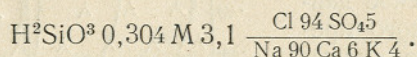
¹ Геологическое строение на профиле показано схематично.

Данные термометрии в скважинах, с одной стороны, подтверждают направление потока, которое определено по карте пьезометрической поверхности, с другой — уточняют направление движения и ширину потока наиболее нагретых вод. Этот поток ограничивается скважинами 13, 14, 17, 19, 18, 7. Ширина его, видимо, определяется небольшим участком активной разгрузки в долине р. Паужетки, в пределах основной трещинной зоны. На геоизотермическом профиле (см. рис. 2) она четко выделяется по смещению изотермы вверх в толще агломератовых туфов на месте заложения скважин 16 и Р-1. Такое же повышение температуры в приповерхностной зоне отмечается по данным измерения температур в скважине 14, заложенной на участке выхода паровых струй в пределах южного тектонического нарушения (верхнее термальное поле).

Локальный поток высокотемпературных вод хорошо фиксируется, кроме того, по изменению их химического состава, который здесь рассматривается только для подтверждения особенностей динамики перегретых вод.

На разведываемом участке термальные воды, заключенные в агломератовых туфах паужетской свиты, по химическому составу хлоридно-натриевые, кремнистые, с минерализацией на выходе 2,7—3,4 г/л.

Химический состав можно выразить формулой Курлова:



Максимальные концентрации компонентов отмечаются в пределах потока наиболее нагретых вод и уменьшаются по направлению потока к долине р. Паужетки. Изменения по площади концентраций характерных ионов Cl^- и K^+ показаны на схеме (рис. 3). По поведению хлора можно также составить представление об изменении минерализации, поскольку последняя пропорциональна его концентрации.

Изолинии концентрации хлор-иона и зоны различных содержания калия по существу подобны линиям равных напоров и геоизотермам на нулевой отметке¹, характеризующим температуры водовмещающих пород. Зона термальных вод с максимальным содержанием калия точно совпадает с потоком наиболее нагретых термальных вод.

Уменьшение температуры термальных вод с одновременным уменьшением концентрации ряда компонентов и общей минерализации, согласующейся с общим движением потока, свидетельствует о том, что причиной этих изменений может явиться смешение минерализованных термальных вод с охлажденными пресными или слабominерализованными водами. Наиболее благоприятные условия

¹ Отметки здесь и далее относительные.

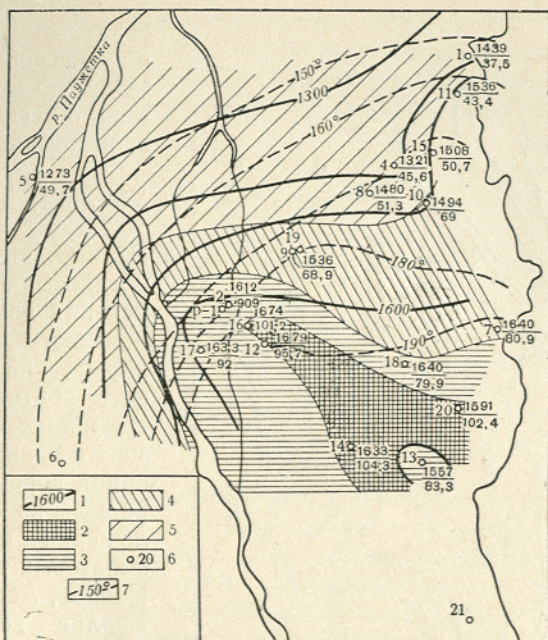
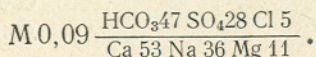


Рис. 3. Изменение концентрации хлора и калия в термальных водах на разведываемом участке Паужетского месторождения
 1 — изолинии концентрации хлора. Распространение термальных вод с содержанием калия (мг/л): 2 — более 100; 3 — 80—100; 4 — 60—80; 5 — менее 60; 6 — скважина, цифра слева — номер скважины; справа в числителе — концентрация хлора, мг/л, в знаменателе — концентрация калия, мг/л; 7 — геозотермы на нулевой отметке (отметки относительные)

для смешения вод создаются именно в зоне разгрузки подземных вод, куда направляются воды со значительной площади данной гидрогеологической структуры, в которую может входить и участок формирования термальных вод. Схема движения высокотермальных и охлажденных слабоминерализованных вод показана на рис. 4.

Скважина 3, пробуренная за северной границей распространения перегретых вод, вскрыла пресные воды (общая минерализация 0,3 г/л), которые представляют собой результат смешения минерализованных и пресных вод. Минерализация и химический состав пресных вод, видимо, подобны составу вод многочисленных холодных источников, выходящих из агломератовых туфов в районе хребта Камбального вне зоны нагрева.



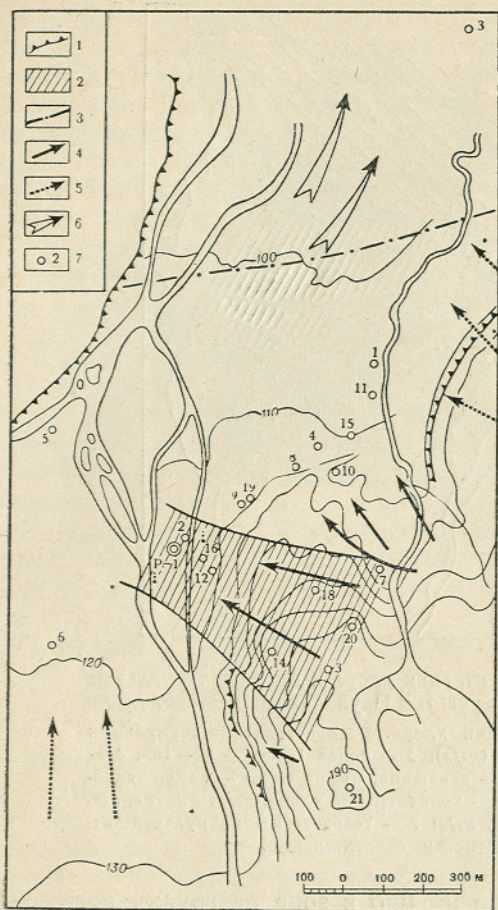
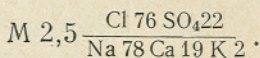


Рис. 4. Схема движения подземных термальных и охлажденных вод на разведываемом участке месторождения

1 — бровка высокой террасы р. Паужетки; 2 — поток наиболее нагретых термальных вод с высоким содержанием хлора, калия и кремнекислоты, движущийся к зоне интенсивной разгрузки; 3 — северная граница распространения высокотермальных вод с температурой более 100°C; 4 — направление движения высокотермальных вод; 5 — направление движения напорных холодных пресных вод; 6 — движение потока после смешения холодных пресных и перегретых минерализованных вод; 7 — разведочная скважина и ее номер

Термальные воды, заключенные в третичных песчаниках, имеют меньшую минерализацию и несколько отличный химический состав



Видимо, это послужило предпосылкой для объяснения изменения химического состава вод паужетской свиты за счет подтягивания вод третичных отложений в зоне создания депрессионной воронки при отборе воды из скважин, заложённых в толще агломератовых туфов (Пийп, Иванов, Аверьев, 1961). Вполне вероятно, что изменение химического состава термальных вод на участке месторождения происходит при смешении вод третичных отложений и пресных вод четвертичных агломератовых туфов.

Температура в роторной скважине ниже залегания обводнённых агломератовых туфов (300 м), как уже указывалось, уменьшалась с глубиной. Этот факт, а также закономерные изменения температуры в интервале водосодержащих отложений паужетской свиты, концентраций характерных компонентов химического состава по направлению движения термальных

вод (см. рис. 2, 3) показывают, что источник тепла, за счет которого осуществляется нагрев подземных вод, находится в стороне от разведываемого участка, а его температурная аномалия обязана как бы наведенному тепловому полю, связанному с их циркуляцией.

ВЫВОДЫ

1. Термальные воды на разведываемом участке Паужетского месторождения приурочены к толще агломератовых туфов паужетской свиты ниже-среднечетвертичного возраста и циркулируют по порам и трещинам. Водообильность различных участков месторождения во многом определяется расположением трещинных зон, сопряженных с тектоническими нарушениями. Предполагается, что последние фиксируются термальными линиями, проходящими через характерные выходы термальных вод на поверхность.

2. Трещинные зоны по отношению к обводненным агломератовым туфам играют роль лишь естественных коллекторов, которые дренируют эти слабопроницаемые породы. Термовыводящими их можно назвать тогда, когда речь идет о выводе на поверхность термальных вод, заключенных в агломератовых туфах. Это подтверждается тем, что температура пород ниже обводненной толщи туфов уменьшается и что температура, статическое давление и химический состав вод изменяются по площади независимо от расположения трещинных зон.

3. Разведываемый участок Паужетского месторождения представляет собой зону разгрузки гидравлически единого напорного потока высокотермальных вод. Интенсивная разгрузка их в виде пароводяных источников, гейзеров и паровых струй осуществляется на южном участке месторождения и обусловливается небольшой мощностью верхнего водоупора и его трещиноватостью. Скрытая разгрузка термальных вод, как это следует из положения пьезоизогипс, происходит на северном участке.

4. Резкое уменьшение температуры в северном и южном направлениях по долине реки от зоны интенсивной разгрузки указывает на небольшую ограниченную ширину потока термальных вод. Понижение температуры по его краям обусловлено смешением минерализованных термальных вод с холодными пресными водами.

5. Формирование термальных перегретых вод происходит за пределами месторождения, видимо, в зоне хребта Камбального, являющегося одним из участков развития современной вулканической деятельности.

6. Высокотермальные воды Паужетского месторождения можно рассматривать как обычные артезианские (напорные) воды и в за-

в зависимости от конкретных гидрогеологических условий применять к ним соответствующие методы разведки, в частности методы количественной оценки эксплуатационных ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

- А в е р ь е в В. В. Условия разгрузки Паужетских гидротерм на юге Камчатки.— Труды Лабор. вулканологии АН СССР, 1961, вып. 19.
- П и й п Б. И., И в а н о в В. В., А в е р ь е в В. В. Высокотермальные воды Паужетки как источник геотермической энергии.— Труды Конференции ООН по новым источникам энергии. Рим, 1961.