

УДК 553.061

К. Ф. ОРФАНИДИ

О РОЛИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ОБРАЗОВАНИИ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Гидротермальным растворам, деятельности которых обязано образование многочисленных рудных месторождений, издавна отводится особое внимание.

Состояние знаний в этой области определяется высказываниями В. Линдгрена, Л. Грейтона [2] и других зарубежных геологов, а также советских ученых—А. Г. Бетехтина [1] и других. Однако в этом вопросе имеется еще много субъективных воззрений и спорных положений.

Л. Грейтон, в частности, считает, что выделение рудного флюида приурочивается к концу активного магматического цикла и происходит из выделяющихся газов кислого состава в результате расщепления остаточной магмы. Затем, выйдя за пределы магмы, газы, конденсируясь, превращаются в жидкость.

А. Г. Бетехтин [1] полагает, что «движение гидротермальных растворов вдоль раскрывающихся трещин может иметь место в силу наличия разностей давления. Водоносные горизонты, залегающие на большой глубине, нередко находятся под большим давлением вышележащих пород, превышающим гидростатическое давление. Именно эта разность давлений вызывает подъем воды из водоносного горизонта, и чем больше эта разница в давлениях, тем стремительнее будет поток воды через данное сечение в единицу времени».

Из гидрогеологов проблемами гидротермальных растворов больше других занимался А. М. Овчинников [5], который гидротермальные растворы рассматривает как проявление сложных водонапорных систем земной коры, охватывающих интрузивные тела и вмещающие их осадочные образования. По его мнению, гидротермальные растворы представляют собой свободные гравитационные подземные воды, имеющие характер артезианских, напорных, трещинных вод, обладающих повышенной температурой (37—400°) и повышенным содержанием некоторых металлов, газов и др.

А. М. Овчинников различает два типа гидротермальных растворов. Одни из них образуются вне влияния магматических очагов, в областях нормального геотермического режима, которые предлагает назвать геотермальными. Другие связаны с магматическими очагами и являются типичными гидротермальными, представляющими собой восходящие газовые, насыщенные углекислотой, ионномолекулярные растворы. Изучение их циркуляции требует применения палеогидрогеологического метода анализа. Гидротермальные процессы, создающие рудные залежи, протекают в пределах водонапорных систем. В них

участвуют подземные воды различного происхождения—древнеседи-
ментационные и инфильтрационные.

Существующие представления о гидротермальных растворах в
значительной своей части носят чисто умозрительный характер и не ба-
зируются на фактических данных, а ведь этими высказываниями, стро-
го говоря, и ограничиваются все теоретические соображения, с которы-
ми до сих пор геологи-рудники подходят к вопросу о природе гидро-
термальных растворов. Естественно, возникает вопрос, можно ли стро-
гую научную концепцию базировать на таких представлениях.

На наш взгляд, уже назрела необходимость обогатить учение о
гидротермальных месторождениях современными достижениями науч-
ных дисциплин, изучающих подземные воды—гидрогеологии, гидроди-
намики и гидрогеохимии.

Рассмотрение природы гидротермальных растворов с позиций на-
званных наук о Земле показывает, что само предположение о магме,
как источнике гидротермальных растворов вне всякой связи с подзем-
ными водами земной коры, является метафизическим, поскольку оно
исключает возможность познания их и решения вопроса о их природе
на основе фактических данных.

В действительности, при внедрении интрузий в гидродинамическую
систему земной коры, она не может оставаться изолированной от окру-
жающей гидродинамической системы, если в ней содержатся какие-
либо растворы и тем более находящиеся в активном движении.

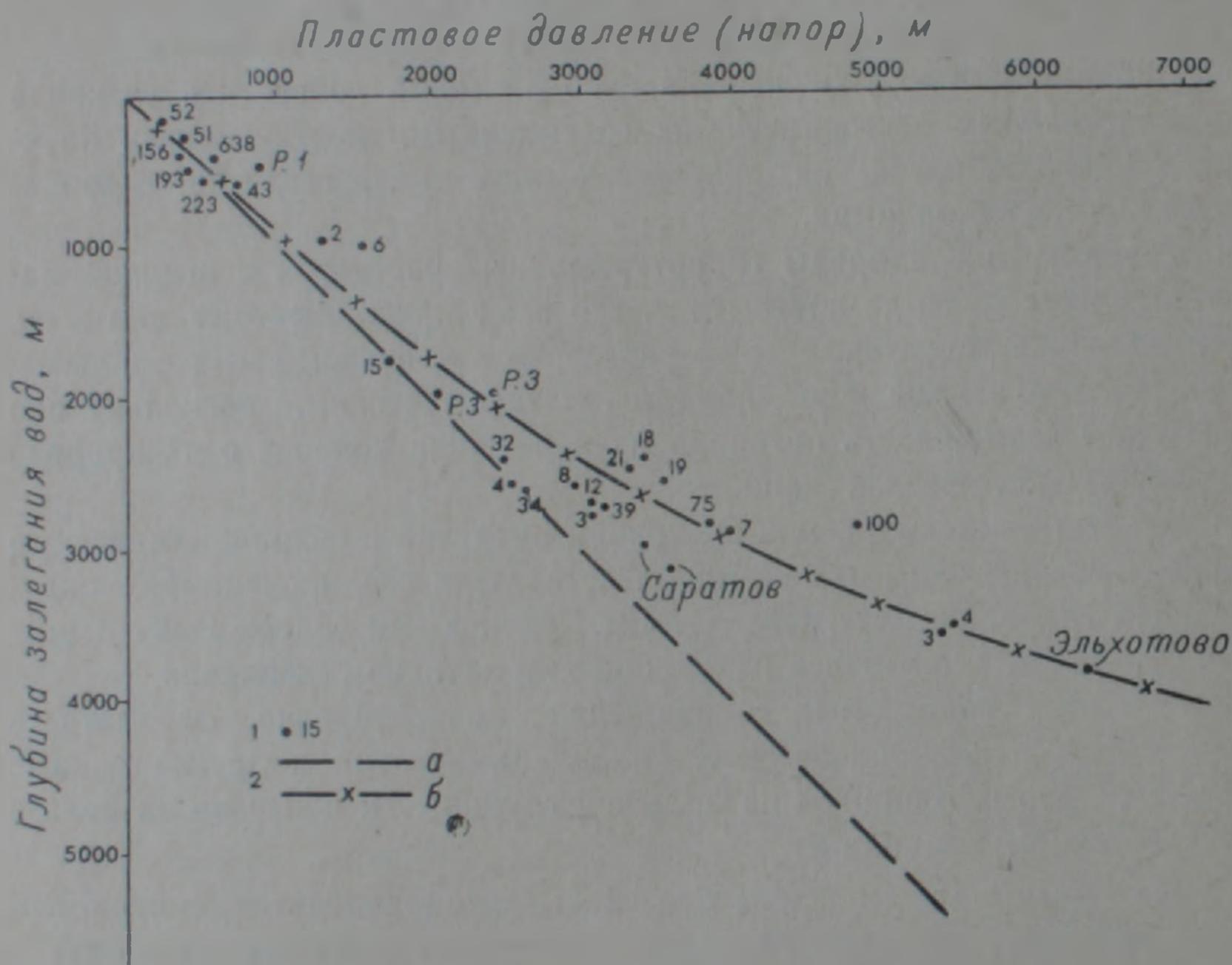
В свете изложенных соображений целесообразно рассмотреть
имеющиеся гидрогеологические, гидродинамические и другие данные
о водах, формирующихся на большой глубине, и показать их роль в
интересующем нас плане.

По многим артезианским бассейнам устанавливается закономер-
ное увеличение с глубиной гидростатического давления (напора) и
температуры воды; чем глубже залегают породы, тем выше пьезомет-
рический (напорный) уровень и температура вод, содержащихся в них,
и тем больше гидростатическое давление, под которым находятся по-
роды и воды.

Это известное явление нами проверено и подкреплено фактически-
ми данными, полученными на основании анализа материалов по ряду
артезианских бассейнов. На основе обработки фактических данных,
опубликованных в работе И. Г. Киссина [3], и личных наблюдений со-
ставлен график зависимости пластового давления от глубины залега-
ния водоносных пород (фиг. 1). Как видно из графика, величина ги-
дродинамического (или гидростатического) напора часто достигает
внушительных размеров. Например, для верхнемеловых пород Пред-
кавказья отношение веса гидростатического столба жидкости (в сква-
жинах глубиной от 400 до 4000 м) к глубине скважины колеблется от
1,3 до 1,75 или, иначе говоря, отношение веса жидкости на интервале
этих глубин к весу столба пород составляет от 0,55 до 0,76. Эти дан-

ные показывают, что увеличение гидростатического напора с глубиной существенно снижает темп роста нагрузки на скелет пород.

С другой стороны, строение земной коры характеризуется определенной неоднородностью; по вертикали наблюдается чередование пород с резко различной проницаемостью, что обуславливает некоторую гидродинамическую изоляцию, т. е. относительную разобщенность между отдельными толщами пород. В результате этого в коре Земли



Фиг. 1. График зависимости пластового давления (напора) вод от глубины залегания их. Составил К. Ф. Орфаниди. 1—буровые скважины и их номера; 2—закономерности изменения давления вод: а) гидростатического, б) фактического, гидродинамического (пластового) напора.

возникает гидродинамическая зональность—напор нижележащих горизонтов всегда больше вышележащих слоев или горизонтов. Указанная гидродинамическая зональность является характерной чертой внешней оболочки Земли, составляющей единую планетарную гидродинамическую систему.

Отдельные геологи, иногда даже близко стоящие к проблеме гидротермального рудообразования, считают, что на больших глубинах пористость пород резко уменьшается или почти исчезает и породы становятся практически непроницаемыми и на этом основании делаются неправильные выводы. Так, например, А. А. Пэк [7] утверждает, что «по мере погружения на все большие глубины каркас пород постепенно становится неспособным противостоять нагрузке, вызванной весом вышележащих толщ, в результате чего пористость их должна прибли-

зиться к пористости интрузивных пород, т. е. снизиться до 0,2—1,5%». Такой вывод был бы правильным, если процесс сжатия пород на глубине уподобить сжатию под прессом. Однако, в природе явления протекают в совершенно иных условиях. В природных условиях сжатие пород, насыщенных водой, происходит в обстановке гидродинамического напора, действие которого направлено в сторону сохранения и даже увеличения пористости пород.

Наращение гидростатического давления с глубиной и свойства горных пород и воды сжиматься под этим давлением обуславливают общую тенденцию—увеличение отношения объема пор, насыщенных водой, к объему твердой фазы (пород), по сравнению с тем, что имеется в условиях поверхности Земли. Это положение нами подробно не рассматривается, так как оно вытекает из гидродинамической теории упругого режима [9].

Так, на нефтяных месторождениях Восточного Предкавказья нефтеносные пласты нижнемеловых терригенных отложений на глубине 3300 м обладают пористостью, достигающей 21%¹. О том, что на таких и даже более значительных глубинах пористость терригенных пород часто не опускается ниже 10%, указывает и современная нефтедобывающая промышленность в Советском Союзе и за рубежом, которая эксплуатирует нефтеносные пласты, залегающие на глубине 5 и более км. Так, глубокая скважина, пройденная в станице Галюгаевской (Восточное Предкавказье), с глубины 5500 м вывела мощный фонтан воды с дебитом 1500 м³/сутки. Такие мощные притоки воды указывают на высокую проницаемость, а стало быть и пористость пород. И, наконец, еще один факт—сверхглубокая опорная скважина в Арал-Соре (на северном берегу Каспия) на глубине 6356 м вскрыла рыхлые слабосцементированные песчаники. Все это подтверждает вывод о том, что на больших глубинах, благодаря наличию гидродинамического напора, пористость пород сохраняется.

В. Н. Щелкачев [9], рассматривая упругий режим водонефтеносных пластов, указывает, что при снижении гидродинамического напора в скважинах происходит сильное уплотнение пород и резкое снижение их пористости, а при увеличении—наоборот. На этом свойстве водонапорных систем по существу основывается теория и практика эксплуатации нефтяных месторождений при поддержании пластовых давлений—законтурное и внутриконтурное обводнение нефтяных пластов.

Это обстоятельство дает основание полагать, что «эффективное» давление, под которым происходит уплотнение пород и уменьшение общей пористости, с глубиной перестает наращиваться. Другими словами, влияние глубины на уменьшение пористости сказывается только до определенной глубины, ниже которой пористость уже практически не уменьшается благодаря тому, что с глубиной происходит непрерывный рост внутрипластового (гидродинамического) давления. Причем, темп роста его выше, чем темп роста веса столба пород. Начиная с

¹ Заимствовано из материалов подсчета запасов нефти.

некоторой глубины, уплотнение пород происходит только за счет сжатия скелета, без сокращения порового пространства. Наличие условий, способствующих сохранению повышенной пористости на больших глубинах, имеет исключительно важное значение, особенно при возникновении тектонических разрывов, по которым может происходить разгрузка вод. Резкое снижение гидродинамического напора на этих участках приводит к локальному уплотнению водоносных пород, что может служить одной из причин возникновения дополнительных разрывов сплошности пород (тектонических трещин) с довольно значительными амплитудами смещения.

Таким образом, фактические гидрогеологические данные говорят о сохранении пористости и на больших глубинах, что имеет огромное теоретическое значение и меняет существующие представления о роли подземных вод на больших глубинах.

Другой важной особенностью земной гидродинамической системы является увеличение с глубиной температуры и общей газоносности. В частности, увеличение с глубиной газоносности в вулканических областях связано с активным выделением глубинных метаморфических газов, в основном CO_2 [6]. Повышение температуры и газоносности с глубиной, как известно, сопровождается увеличением давления насыщения, а это обстоятельство способствует проявлению упруго-газонапорного режима.

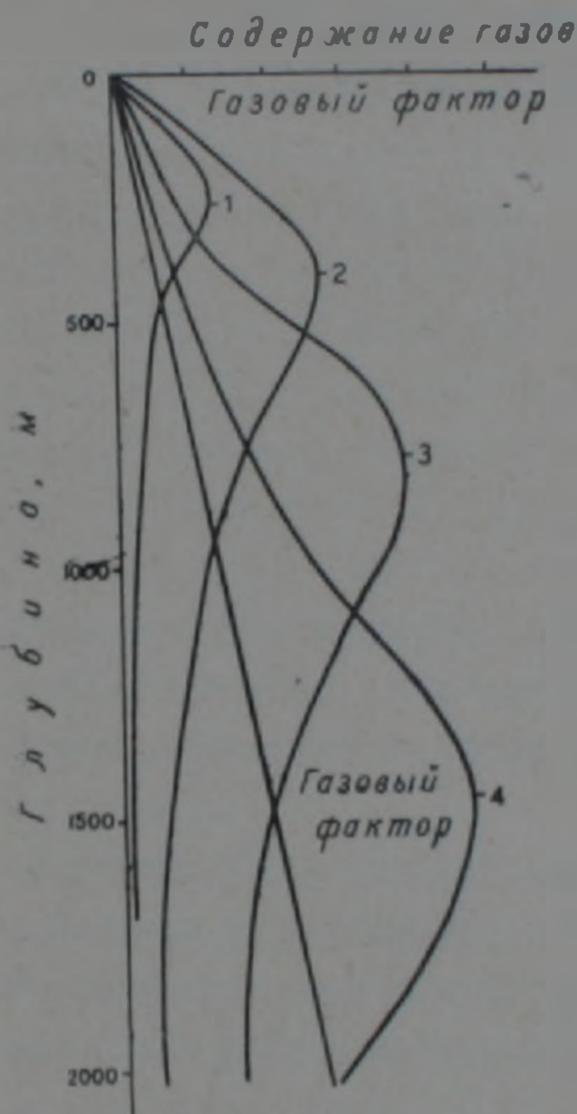
С глубиной, причем в прямой зависимости от давления, растет и газорастворяющая способность подземных вод, как это вытекает из закона Генри. В связи с этим каждая, более глубоко залегающая, зона земной коры обладает большим гидростатическим напором и соответственно большей способностью содержащихся в ней вод растворять газы. Вследствие этого и по ряду других причин с глубиной, как правило, растет общая газоносность пород и газонасыщенность вод.

Газоносность того или иного района формируется, как известно, в процессе геологического развития при постоянном взаимодействии различных эндогенных, экзогенных и биохимических явлений и факторов, служащих источником газов и миграции последних в земной коре. В результате разнообразных процессов, протекающих в земной коре, создается определенная зональность в пространственном распределении отдельных газов [8].

Согласно этой зональности газы (He , N_2 , O_2 , CH_4 и CO_2), развитые в земной коре, распределяются в строго определенном порядке. Такие газы, как He и N_2 —наиболее легкие и обладающие весьма низкой растворимостью в воде, накапливаются преимущественно в верхней части земной коры. Ниже располагаются ореол метана и еще ниже ореол углекислоты. Между этими зонами имеются области с переходным (смешанным) составом газов. Зональность эта в общих чертах характеризуется тем, что чем меньше коэффициент растворимости газа и чем легче газ, тем ближе к поверхности располагаются его максимальные концентрации и, наоборот, чем тяжелее газ и чем больше его раствори-

мость, тем ниже (глубже) находятся его максимальные концентрации. Сверху вниз будут последовательно располагаться максимальные концентрации He, N₂, CH₄ и CO₂ при систематическом увеличении газового фактора (фиг. 2).

На основании имеющихся данных можно сделать вывод, что в вертикальном разрезе земной коры намечается довольно характерная геохимическая зональность в распределении газов (фиг. 2). Зональность эта обуславливается как физико-химическими и миграционными свойствами (диффузия и фильтрация) отдельных газов, так и геохимическими и геотермическими условиями, свойственными земной коре в том или ином районе.



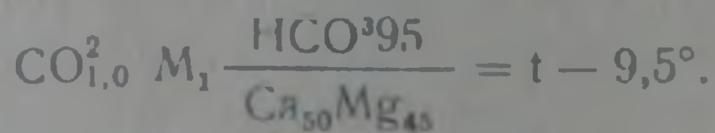
Фиг. 2. Принципиальная схема распределения некоторых газов в земной коре (сост. К. Ф. Орфанди). Содержание газов: 1—гелия; 2—азота; 3—метана; 4—углекислоты; 5—газовый фактор (отношение объема растворенного газа к объему воды).

Отмеченная зональность находится в тесной связи с общеизвестным явлением дифференцированного дегазирования [10]. Чем меньше растворимость газа, тем раньше он выделяется при дегазации.

Вертикальная геохимическая зональность газов в сочетании с геолого-структурными условиями позволяет предполагать, что в приподнятых блоках, где явления дегазации развиты сильнее, ореолы легких газов легко разрушаются и к дневной поверхности подходят (поднимаются) ореолы более тяжелых газов, таких как CH₄, CO₂, характерных для нижних геохимических зон. В опущенных же блоках, где гидродинамический режим ослаблен, наоборот, создаются условия для сохранения ореолов легких газов, таких как N₂ и He.

Многие геологи полагают, что высокая концентрация рудных элементов в водах характерна только для «магматических» флюидов. Эти представления являются неправильными, так как даже в водах сравнительно неглубокой циркуляции, например в условиях Эльбрусской провинции углекислых вод, отмечаются очень высокие concentra-

ции некоторых рудных элементов. Так, в современных осадках (травертинах) одной группы углекислых источников в бассейне р. Уллу-Хурзук (правый приток р. Кубани) установлено присутствие: MnCO_3 —70%, FeCO_3 —8%, CaCO_3 —13%, MgCO_3 —8%, TiO_2 — $8 \cdot 10^{-2}$ %, P_2O_5 —0,56%, U — $3,6 \cdot 10^{-2}$ %. Химический состав углекислых вод, содержащих указанные рудные компоненты, характеризуется следующей формулой (по Курлову):



Другим примером высокого содержания рудных элементов могут служить термальные воды о. Челекен [4], представляющие собой рассолы хлор-кальциевого состава с минерализацией около 260г/л.

Содержание рудных элементов в этих водах иллюстрируется следующими данными:

$$\begin{aligned} \text{Pb} & - 10,7 \cdot 10^{-3} \text{ г/л,} \\ \text{Cu} & - 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ г/л,} \\ \text{Zn} & - 5,3 \cdot 10^{-3} \text{ г/л,} \\ \text{Sn} & - 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ г/л,} \\ \text{As} & - 6 \cdot 10^{-5} \text{ г/л,} \\ \text{Mo} & - 8 \cdot 10^{-6} \text{ г/л,} \\ \text{pH} & - 6; t - 92^\circ. \end{aligned}$$

Подобные рудоносные термы могут служить прекрасным источником для образования полиметаллического оруденения (Pb, Cu, Zn и др.) без привлечения особых условий и, в частности, внедрения интрузии.

Химический состав вод восходящих потоков (гидротерм) находится в тесной связи с конкретными геохимическими и гидрохимическими условиями, которые, в свою очередь, могут усложняться наложением совокупности процессов, возникающих при внедрении интрузий или формировании крупных тектонических узлов.

Кратко охарактеризовав зональность в распределении различных геологических факторов в земной коре, попытаемся рассмотреть их совокупности в геолого-структурном развитии земной коры.

Изложенное приводит нас к выводу о том, что возникновение тектонических узлов с повышенной проницаемостью в условиях нормальной гидродинамической зональности, в обстановке упруго-водонапорного и газонапорного режимов, создает благоприятную обстановку для перетекания вод из области с высокими гидростатическими напорами (т. е. с большими потенциальными запасами энергии) в область с меньшим давлением, чем создаются все необходимые предпосылки для возникновения на этих узлах восходящих потоков подземных вод. Для образования восходящих потоков вод весьма благоприятные условия возникают в газонасыщенной гидродинамической обстановке и особенно вблизи магматического очага (интрузии), где давление насыщения может возрастать до величин, превышающих гидростатическое давление. После этого начинает проявляться упруго-газонапорный

режим, придающий восходящему потоку воды более активный характер. С момента возникновения фильтрации воды, снизу начинает притекать тепло, под влиянием которого давление насыщения растворенных газов еще больше возрастает, что, в свою очередь, способствует усилению скорости восходящих потоков воды.

В свете изложенного возникновение восходящих потоков термальных вод или гидротерм в гидрогеологии не может рассматриваться иначе, как обычное явление, как свойство гидродинамической системы земной коры.

Формирование восходящих потоков подземных вод в различных геолого-структурных и гидрогеологических условиях происходит по-разному.

Возникновение тектонических узлов, по которым часто происходит внедрение интрузивных масс, в известном смысле следует рассматривать как создание аппаратов с восходящими токами подземных вод и, в частности, термальных вод глубокой циркуляции. Образование таких аппаратов вносит существенные изменения в гидродинамику и химизм пластовых и пластово-трещинных вод окружающей местности. Эти участки, т. е. тектонические узлы, обычно становятся очагами активной разгрузки вод, куда устремляется интенсивный поток вод с окружающей водонапорной системы. Такое направленное движение подземных вод к узлам разгрузки, пространственно часто совпадающее с участками внедрения интрузии, определенным образом перестраивает существовавший к этому моменту гидродинамический план всего района, ускоряет движение подземных вод и активизирует их геохимическую деятельность.

Гидрохимическая активность подземных вод в этих условиях зависит как от химического состава вод напорной системы, в которую внедряются интрузии или образуются тектонические узлы, так и от характера воздействия на породы интрузивных тел и сопровождающих их продуктов магматизма.

С изменениями химического состава подземных вод во вмещающих породах следует связывать и этапность в минералообразовании при гидротермальном рудообразовании. Этапы минералообразования, наблюдающиеся в гидротермальных процессах, могут быть объяснены следующим образом.

В начальной стадии гидротермального процесса к тектоническим узлам поступают воды из нижней гидродинамической зоны, которая обычно характеризуется сильно восстановительными свойствами. Растворами такого состава могут переноситься химические элементы, подвижные в низковалентной форме. В этой обстановке могут образовываться различные сульфидные руды, в том числе и высокотемпературные и бескислородные минералы. По мере разгрузки пластовых вод из вмещающих пород (системы) к интрузии поступают воды с менее восстановительными свойствами, а в последнюю стадию—подходят воды из окислительной среды, т. е. из области питания, с высоким E_h ,

которые благоприятны для миграции элементов, подвижных в окислительной обстановке и, в частности, такого элемента, как уран. Таким образом, можно легко убедиться в том, что последовательность изменения химического состава подземных вод, поступающих к интрузивным телам, достаточно хорошо согласуется с общеизвестной схемой минералообразования.

Из приведенных гидрогеологических данных и соображений следует весьма важный вывод. Масштабы и характер гидротермального оруденения в значительной мере определяются размерами водонапорной системы (артезианского бассейна), куда внедряется интрузия, химическим составом вод и пород этой системы.

Ход гидротермальных процессов зависит от очень многих обстоятельств: геологической обстановки, рудоносности и химического состава интрузий и окружающих их осадочных пород, структурных особенностей, а также и частных гидрогеологических, гидрохимических и гидродинамических условий. Характер гидротермальных процессов и масштаб их в значительной мере определяются своеобразием гидрогеологических условий, существовавших в районе внедрения интрузии, т. е. палеогидрогеологическими условиями.

Изложенные выше соображения говорят о необходимости более углубленного изучения гидротермальных процессов уже с позиций гидрогеологии и исторической последовательности развития и генетической связи со средой, окружающей интрузии. Всякий иной подход, рассматривающий гидротермальные процессы изолированно, без учета гидрогеологических условий, существовавших в период проявления этих процессов, является механическим и поэтому не может способствовать познанию этих явлений.

Внедрение магматических (интрузивных) тел в толщу пород, в которых исторически сформировались определенные гидрогеологические, гидрогеохимические и гидродинамические условия, вносит коренные изменения в них. Первопричиной этих изменений являются участки внедрения интрузии, ставшие очагами, куда устремляются потоки напорных вод из окружающей среды. При этом, чем глубже залегает водоносный горизонт, тем больше срезка напоров и тем, стало быть, при прочих равных условиях, активнее будет происходить разгрузка вод. Это явление, обусловленное свойствами самой гидродинамической системы земной коры, является неизбежным, поэтому нельзя понять сущность и ход, а также причины, управляющие гидротермальным процессом, не разобравшись в гидрогеологической обстановке, в которой протекают эти процессы. Возникает необходимость в выяснении не только характера изменений, которые вносятся внедрившейся интрузией в окружающую обстановку, но и обратное—влияние воздействия окружающей гидродинамической обстановки на ход гидротермальных процессов.

Большие размеры водонапорных систем и однородный химический состав их вод будут способствовать постоянству режима гидротермальных процессов, а малые водонапорные системы с пестрым химическим

составом вод, наоборот, будут изменять их режим. Отсюда следует, что чем более водоносными являются вмещающие породы, тем лучше предпосылки для притока (питания) гидротермальных растворов. Если же интрузии внедряются в неводоносные глинистые толщи, то притока вод со стороны не будет и гидротермальные процессы будут слабо или совершенно не проявлены. Следовательно, исходя из гидрогеологических особенностей районов, можно наметить и некоторые критерии для оценки перспективности интрузий на возможность формирования гидротермальных месторождений.

Резюмируя изложенное, можно сделать следующие выводы.

1. Подземная гидросфера представляет собой упруго-водонапорную систему с выраженной вертикальной гидродинамической зональностью. Главным элементом этой зональности является наличие градиента гидростатического напора—увеличение напора подземных вод с глубиной над условной плоскостью сравнения. Упруго-водонапорный режим, свойственный подземным водам земной коры, благоприятствует сохранению на больших глубинах высоких (до 20%) значений эффективной пористости и активному участию подземных вод в различных процессах.

2. Существование в упруго-водонапорной системе земной коры градиента гидростатического напора создает в зонах и узлах пересечения глубинных тектонических разломов предпосылки для образования восходящих потоков подземных вод, действующих в основном за счет упругой энергии пород и вод.

3. Химический состав вод восходящих потоков—гидротермальных растворов находится в тесной связи с частными и общими геохимическими условиями и в значительной степени зависит от характера воздействия на водовмещающие породы глубинных процессов и магматических агентов, сопровождающих внедрение интрузивных тел.

4. Возникновение магматических аппаратов в тектонически ослабленных узлах резко изменяет региональные гидродинамические и гидрогеохимические условия. Под влиянием этих изменений создаются предпосылки для усиления движения подземных вод и активной миграции химических элементов к очагам разгрузки вод. Характер гидротермальных процессов, их масштаб и состав образующихся минералов в значительной степени определяются химическим составом, физико-химическими свойствами вод и водообильностью окружающих пород. Гидротермальную деятельность нужно рассматривать как совокупность явлений, происходящих не только в пределах отдельных интрузий и тектонических узлов, но и на всей территории, прилегающей к этим участкам.

5. Активизация режима подземных вод, связанная с внедрением интрузивных тел, имеет важное значение не только для проявления гидротермальных процессов, развивающихся вблизи магматических очагов, но и служит одним из ведущих факторов регионального эпиге-

неза (метаморфизма) осадочных пород, обусловленного геохимической деятельностью подземных вод.

6. Разработка проблемы гидротермальных процессов с учетом данных гидрогеологии—на основе реконструкции палеогидрогеологических условий и их эволюции в историческом аспекте, позволит поднять теоретический уровень учения о гидротермальных месторождениях и повысить достоверность их прогнозирования.

Управление геологии
СМ Армянской ССР

Поступила 26.III.1973.

Կ. Ֆ. ՕՐՖԱՆԻԴԻ

ՀԻԴՐՈԹԵՐՄԱԿ ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԵՐԻ ԱՌԱՋԱՑՄԱՆ ՄԵՋ
ՍՏՈՐԵՐԿՐՅԱ ՋՐԵՐԻ ԴԵՐԻ ՄԱՍԻՆ

Ս Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հնդարձակ փաստացի նյութի հիման վրա հաստատվում է ստորերկրյա ջրերի հիդրոդինամիկ ճնշման, զազատարության, ջերմաստիճանի ու քիմիական կազմի աճն ըստ խորության, ինչպես նաև մեծ խորություններում ապարների էֆեկտիվ ծակոտկենության զգալի պահպանումը:

Հիմնվելով այդ օրինաչափությունների վրա, որոնք բնորոշ են երկրակեղևի առաձգական-ջրաճնշիչ սիստեմի համար, հեղինակը բացատրում է թերմալ ստորերկրյա ջրերի վերրնթաց հանրառաջացնող հոսքերի առաջացման մեխանիզմը և ապացուցում է նրանց մասնակցությունը օգտակար հանածոների հիդրոթերմալ ծագման հանրավայրերի ձևավորման մեջ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бетехтин А. Г. Некоторые соображения о причинах движения гидротермальных растворов. Зап. ВМО, ч. XXXI, №1, 1952.
2. Грейтон Л. Природа рудообразующего флюида. Гостехиздат, 1946.
3. Киссин И. Г. О гидродинамических и гидрохимических особенностях водоносных горизонтов мезозойских отложений Восточного Предкавказья. ДАН СССР, т. 134, №1, 1960.
4. Лебедев А. М., Бугельский Ю. Ю. Рудоносные термы о. Челекен. Докл. сов. уч., МГ Конгресс, XXXIII сессия, 1968.
5. Овчинников А. М. Гидрогеологические условия гидротермальных месторождений. БМОИП, т. XXXII (5), 1957.
6. Орфаниди К. Ф. Углекислота в подземных водах. ДАН СССР, т. 115, №5, 1957.
7. Пэк А. А. К вопросу о причинах движения гидротермальных растворов. Геол. рудн. местор. т. VII, №3, 1965.
8. Соколов В. А. Теоретические основы образования месторождений нефти и газа. Сб. «Генезис нефти и газа», «Наука», 1968.
9. Щелкачев В. Н. Разработка нефтегазоносных пластов при упругом режиме. 1959.
10. Якуцени В. П. Геохимия гелия. «Наука», 1968.