

А.М. САМЕДОВ, В.Г. КРАВЕЦ
НТУУ "КПИ", Киев
А.А.ТКАЧУК
Ассоциация "Укрсахкамень", Киев

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Аннотация. Рассмотрены экологические изменения в подземных водах под влиянием высоких температур. Установлено, что повышенная температура ускоряет химические реакции растворения солей, минералов, а также распад радиоактивных изотопов с последующим загрязнением водных ресурсов.

EKOLOGICZNE SKUTKI ODDZIAŁYWANIA WYSOKOTEMPERATUROWYCH WÓD PODZIEMNYCH NA GÓROTWÓR

Streszczenie. Rozpatrzono zmiany w wodach podziemnych pod wpływem wysokich temperatur. Stwierdzono że podwyższona temperatura przyspiesza reakcje chemiczne rozpuszczania soli, minerałów, a także rozpad izotopów radioaktywnych powodujących zanieczyszczenie zasobów wodnych.

При эксплуатации промышленных тепловых сооружений зачастую из – за недостаточно надежной тепло - и гидроизоляции в грунтовом массиве основания сооружения на достаточно большую глубину (от 30 до 50 м) распространяются повышенные температуры (200–600 °С). Поскольку в порах и трещинах пород присутствует определенное количество химически связанной, физически связанной, свободной и твердой влаги, ее свойства под действием температур могут заметно изменяться. Химически связанная вода наряду с другими молекулами и ионами входит в состав кристаллической решетки минералов; удаление такой воды приводит к разрушению минерала, переходу его в безводное соединение.

Кристаллизационная вода характерна для природного двухводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, опала $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, карналлита $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, каолинита $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и многих других минералов. Кристаллизационная вода, как правило, удаляется при температуре $200 - 600^\circ\text{C}$. Воду, образующуюся при нагреве из входящих в кристаллическую решетку гидроксильных ионов OH^- и H^+ , называют конституционной. Температура ее выделения из состава минералов достигает 1300°C . Гидроксильные ионы имеются в составе талька $\text{Mg}_3(\text{OH})_2 \text{Si}_4\text{O}_{10}$, малахита $\text{Cu}_2[\text{CO}_3](\text{OH})_2$, видоизмененного каолинита $\text{Al}_2(\text{OH})_4 \cdot \text{SiO}_5$, мусковита $\text{K} \text{Al}_2(\text{OH})_2 \text{AlSi}_3\text{O}_{10}$, серпентина $\text{Mg}_3(\text{OH})_4 \cdot \text{Si}_2\text{O}_5$, биотита $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe})_3 \cdot (\text{OH})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$ и др. Вследствие нарушения кристаллической решетки минералов при выделении из них химически связанной воды происходит ослабление и разрушение пород, а в некоторых случаях их упрочнение (глины).

Физически связанная вода прочно соединена молекулярными силами с твердыми частицами породы, обволакивая их в виде пленки и удерживаясь на поверхности минеральных частиц за счет электростатического притяжения. Большинство горных пород относится к хорошо смачиваемым (гидрофильным), а некоторые – к плохо смачиваемым и даже полностью не смачиваемым (гидрофобным), например, сера, угли, битуминозные песчаники и др. Адсорбционная способность горных пород возрастает при наличии в них растворимых солей. Следует ожидать, что при поступлении соляных растворов под действием повышенных температур адсорбция будет протекать интенсивнее, соответственно усиливая разрушительные процессы.

Физически связанная вода в нормальных условиях не перемещается в породах, имеет высокую плотность (до $17,4 \text{ кН/м}^3$), низкую теплоемкость, диэлектрическую проницаемость, электропроводность и не является растворителем солей. Такая вода удаляется из породы только путем нагрева до температуры 110°C . Наличие такой воды значительно изменяет свойства пород.

Количество воды, удерживаемой поверхностными силами молекулярного притяжения, характеризует влагоемкость породы. Молекулярная влагоемкость и максимальная гигроскопичность обусловлены наличием в породе пленочной слабосвязанной воды. Она отличается от физически прочно связанной воды способностью передвигаться под действием молекулярных сил притяжения. Влажные породы обладают способностью адсорбировать наряду с водой ионы из насыщающего раствора, т.е. ионно – сорбционной способностью [1].

Свободная вода в породах может находиться в виде капиллярной воды, удерживаемой в порах силами капиллярного поднятия, и в виде гравитационной воды, заполняющей крупные поры и передвигающейся в породах под действием сил тяжести или давления (напора).

В зависимости от минерального и зернового состава пород и формы частиц соотношение видов воды в породе различно. Например, пески содержат в основном гравитационную воду, а глины и суглинки - молекулярную. В глинах содержание капиллярной воды достигает 18 - 50 %. Чем больше молекулярная влагоемкость пород, тем меньше их коэффициент водоотдачи. Например, у лессов, глин и пылеватых песков (пльвунов) водоотдача очень слабая.

Основные свойства подземных вод - плотность, вязкость, фильтрационная способность, скорость диффузии молекул и ионов, растворяющая способность зависят от структуры воды. Особенности структуры воды обусловлены также все известные аномалии ее физических свойств [2]. Определенным температурам и давлениям соответствует специфическая структура подземной воды. В воде имеет место структурное равновесие между молекулами, зависящее от температуры и давления. С повышением температуры усиливаются колебания молекул около состояний временного равновесия, вследствие чего эффективный радиус молекул увеличивается, между ними нарушаются водородные связи, что приводит к нарушению ближней упорядоченности (уплотненности) расположения молекул, свойственной воде. Так, при температуре плавления льда (выше 0 °C) разрывается около 9 % водородных связей, при кипении воды разрывается более 20 % связей, при 200 °C - около 35 %, при 300 °C - до 62 % и при 350 °C и более все молекулы разрываются и становятся свободными, т.е. вода переходит в водяной пар. К аналогичному результату приводит повышение давления, поскольку и в этом случае происходит разрушение водородных связей и молекулы заполняют пустоты [3, 4].

Разрушение структуры воды приводит к тому, что дальнейшее повышение давления препятствует воздействию температуры и ослабляет трансляционное движение молекул воды, увеличивая ее вязкость.

Можно выделить несколько характерных граничных точек, разделяющих состояние грунтовой воды на фазы с различными структурными связями. в зависимости от теплового потока. Первой является точка замерзания воды, когда ее молекулы образуют строго упорядоченную решетку, а их положение фиксируется водородными связями. Второй является точка кипения воды, когда 20 % водородных

связей разорваны и вода при давлении, меньшем давления насыщенного пара, вскипает. Третья точка - критическая температура, выше которой водородные связи разрываются и вода переходит в газообразное состояние.

Свободная вода, участвующая в подземном стоке, испытывает гидростатическое давление, которое в большинстве случаев в 2 – 3 раза меньше давления горных пород. Давление воды, изолированной в замкнутых пустотах пород, примерно одинаково. Оно изменяется от 0,1 до 850 мПа в массиве литосферы в зависимости от глубины. Однако практически из – за высокого давления вода не вскипает до тех пор, пока ее температура не превысит критического значения. Горячая вода, проходя геологические слои, растворяет соли, минералы, масла и смолы и сама минерализуется, при этом точка кипения воды изменяется в зависимости от минерализации и давления. Так, в насыщенном растворе NaCl при $P = 0,1$ мПа точка кипения составляет 108,8 °С. Если давление меньше, точка кипения не достигает 100 °С. Во многих случаях мало минерализованных подземных вод в зависимости от атмосферного давления точка кипения составляет 97 – 99 °С. С ростом давления и минерализации точка кипения воды соответственно перемещается вверх, при этом для концентрированных высокоминерализованных растворов критическая температура и давление будут значительно выше, чем для экологически чистой воды.

Наши эксперименты с образцами спондиловой глины при нагревании до различной температуры показали, что по мере нагрева до 120 °С происходит испарение гигроскопической влаги. При дальнейшем нагреве минералы, составляющие глину, теряют кристаллизационную воду, а при температуре 400 – 500 °С из глины удаляется конституционная вода.

При высоких температурах, проникающих в грунт под тепловыми сооружениями, подземная вода превращается в водяной пар с повышенными термодинамическими параметрами, например, с энтальпией около 3000 кДж/кг. Растворяющая способность такого пара по отношению к солям и химическим элементам значительно выше, чем у чистой воды. У перегретого плотного пара фильтрационная способность значительно выше по сравнению с чистой водой.

Температура, излучаемая тепловыми сооружениями, распространяясь на большую глубину, способствует формированию новых источников тепла – первичных и вторичных.

К первичным можно отнести преобразование в тепло энергии радиоактивного распада изотопов, которые имеются в составе горных пород. Естественная

радиоактивность горных пород обусловлена наличием в их составе либо минералов, содержащих радиоактивные элементы (уран, торий, радий), либо радиоактивные изотопы (калия, кальция, рубидия, циркония, олова, теллура, вольфрама, рения и висмута). Некоторые минералы обладают способностью адсорбировать из окружающей среды радиоактивные элементы и изотопы. Наличие таких минералов в горных породах, например, присутствие глин в мергелях, повышает их радиоактивность. Их радиоактивный распад активизируется при повышении температуры в результате движения горячей воды. Короткоживущие радиоактивные изотопы, такие как Al^{26} , Be^{10} , Cl^{36} , которые содержатся во многих горных породах, также активизируются от притока и генерации горячей воды.

В присутствии распада долго- и короткоживущих радиоактивных изотопов подземная вода может захватывать на своем фильтрационном пути и переносить многие источники генерации загрязнений.

К вторичным источникам тепла относятся процессы, преобразующие в тепло энергию тектонических движений, химических реакций и фазовых превращений минералов. В результате генерации температуры и движения горячей воды в поровом пространстве и в трещинах эти процессы ускоряются.

Тепловой эффект химических реакций, которые инициирует температура от тепловых сооружений и перемещения подземных горячих вод, может ускорить растворение минералов и солей, химических реагентов, загрязняя подземные воды в больших объемах. Процессы растворения горных пород обуславливают возникновение и развитие карстовых явлений. Присутствие в водном растворе Na^+ и Cl^- может увеличить растворимость гипса в 4 – 5 раз даже при температуре $25^{\circ}C$.

Растворимость горных пород в воде обратно пропорциональна энергии кристаллических решеток. Например, для $NaCl$, $CaSO_4$, $CaCO_3$ растворимость равна соответственно 320; 2,1; 0,15 г/л при температуре $25^{\circ}C$.

Температура подземной воды создает благоприятные условия для ускорения химических реакций карбонатных пород, полевых шпатов, сульфатных пород (ангидрита, гипса) и других минералов, которые распадаются на отдельные элементы и щелочные вещества. Совокупность растворенных солей и химических реагентов существенно загрязняет подземные воды.

На основе вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

- высокие температуры от тепловых сооружений передаются в грунт основания и нагревают подземную воду до кипения, часто превращая ее в водяной пар. Горячая

вода или водяной пар, обладая новыми структурными свойствами, проникают глубоко в горный массив, растворяя даже труднорастворимые соли, минералы, химические реагенты, щелочи, масла и смолы, находящиеся в составе горных пород, вымывают их при своем движении в процессе фильтрации, создают высокую степень минерализации водных растворов, насыщая их экологически нечистыми ионами и молекулами;

- под тепловыми сооружениями формируются новые источники тепла, благоприятствуя преобразованию в тепло энергии, полученной при распаде изотопов радиоактивных элементов в составе горных пород, переносят растворенные в воде загрязнения в виде альфа – и бета - частиц, гамма - лучей и нейтронов;

- температурное воздействие теплового сооружения обуславливает нагрев подземных вод, изменяя вязкость водных растворов, ускоряет фильтрацию, инициирует процессы растворения солей, масел и смол, играет роль активатора тектонических движений, химических реакций, формирует источники энергии повторного загрязнения окружающей геологической среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Магницкий В.А.: Внутреннее строение и физика Земли. Недра, М.: 1965. - 260 с.
2. Щербань А.Н., Бабинец А.Е., Цырульников А.С., Дядькин Ю.Д.: Тепло Земли и его извлечение. Наук. Думка, К.: 1974. – 264 с.
3. Гутенберг В.: Физика земных недр. ИЛ., М.: 1963.- 350 с.
4. Киссин И.Г.: Гидродинамические аномалии в подземной гидросфере. Наука, М.: 1967. – 275 с.

Recenzent: Prof. zw. dr hab. inż. Mirosław Chudek