

ТЕПЛОВЫЕ И ТРАНСПОРТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГАЛОИДНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД, ВОЗНИКАЮЩИЕ ВБЛИЗИ РАЗМЕЩЕННОГО В НИХ РАДИОАКТИВНОГО ИСТОЧНИКА

О.А. Почепцова¹⁾, З.Р. Маттис²⁾, А.Н. Никитин²⁾

¹⁾Белгородский государственный университет, Студенческая,14, Белгород, 308007, Россия

²⁾Объединенный институт ядерных исследований, лаборатория нейтронной физики
им. И.М. Франка, Жолио-Кюри, 6, Дубна, Московская обл., 141980, Россия

В работе приведены результаты исследования свойств природной каменной соли (NaCl). Актуальность обусловлена тем, что данная порода по ряду свойств является одной из предпочтительных для строительства подземных хранилищ радиоактивных отходов и резервуаров природного газа. Однако в солях при определенных условиях повышается проницаемость, что связано с их высокой растворимостью. Жидкие включения, почти всегда присутствующие в галоидных толщах, способны приходить в направленное движение при наличии градиентной силы (температура, механические напряжения). Это резко ухудшает барьерные свойства хранилища. В связи с этим проведены экспериментальные нейтронографические исследования текстуры и температурной зависимости внутренних напряжений в образцах каменной соли. Рассмотрен способ определения значений температур и тепловых градиентов, возникающих в соли в окрестности теплоизлучающего источника (захоронение РАО). Также предложен вариант вычисления максимально возможных скоростей движения включений в указанных условиях.

Ключевые слова: барьерные свойства хранилищ, жидкие включения, радиоактивные отходы, растворы солей, тепловыделяющий источник.

1. Введение

В представленной работе отражены результаты исследования некоторых свойств природной каменной соли. Данная порода представляет большой практический интерес, поскольку по ряду причин она является одной из предпочтительных для сооружения подземных хранилищ радиоактивных отходов, а также для создания резервуаров природного газа. Эти задачи являются актуальными помимо использования солей в традиционных целях – химической и пищевой отраслях.

Соль обладает высокой теплопроводностью, что позволит при её использовании быстро отводить тепло от разогретого захоронения. Кроме того, соль – высокопластичный материал, способствующий залечиванию возникающих

под действием высоких температур и давлений различных трещин и нарушений. И, наконец, это одна из наиболее доступных для использования геологических пород.

Важнейшей характеристикой соли, которую необходимо учитывать при планировании сооружения подземных захоронений РАО и хранилищ газа, является ее жидкостная проницаемость. Несмотря на отсутствие воды в крупных масштабах, в соляных пластах почти всегда присутствуют мелкие включения (размером $10^{-6} - 10^{-2}$ м), содержащие соленасыщенный водный раствор [7]. Эти включения могут двигаться по трещинам и порам, неизбежно возникающим в области повышенных температур и давлений. Направления перемещений в этих случаях определяются текстурой формы (т.е. преимущественно направленными по форме трещин и вытянутых пор). Кроме того, при наличии градиентной силы в солях появляется дополнительный механизм эффективной проницаемости, обусловленный зависимостью растворимости соли в водном растворе от температуры (в случае градиента температур), а также стремлением к понижению упругой энергии системы (в случае градиента механических напряжений). В случае, когда включений будет много, они могут со временем сконцентрироваться в местах расположения контейнеров с отходами и способствовать обрушению стенок захоронения.

Таким образом, чтобы оценить значение проницаемости соляной породы, необходимо рассматривать оба возможных механизма. С этой целью был выполнен ряд экспериментальных и теоретических исследований.

1. На ядерном реакторе ИБР-2 с помощью дифрактометров СКАТ и ФДВР проведены структурные и текстурные измерения образца каменной соли, а также температурные зависимости внутренних решеточных напряжений.

2. Рассчитаны значения температур и тепловых градиентов, возникающих в соли в окрестности теплоизлучающего источника (захоронение РАО).

3. Вычислены максимально возможные скорости движения жидких включений в солях под действием градиента температуры.

2. Структурные и текстурные исследования образца каменной соли (NaCl) [5,6]

В качестве образца использовался порошок, изготовленный из природной каменной соли. С помощью дифрактометров СКАТ и ФДВР были определены параметры решетки при различной температуре и оценен порядок соответствующих внутренних напряжений (табл.1).

Таблица 1. Коэффициенты теплового линейного расширения α и вызываемые тепловым расширением решеточные напряжения σ .

T, °C	$\alpha \cdot 10^{-5}, 1/^\circ\text{C}$	$\sigma, \text{МПа}$
100	3,73231	107
150	3,90209	112
200	4,19786	116
250	4,45661	119
300	4,61178	119

Эти напряжения в свою очередь могут создавать градиентные поля напряжений, инициирующие перемещение водных включений. А также была измерена текстура данного образца (рис.1), определяющая анизотропию проницаемости. Эти факторы, наряду с другими, могут влиять на направление и величину скорости перемещения жидких включений в соли.

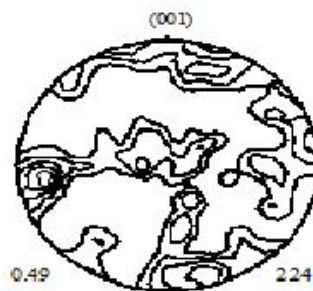


Рис. 1: Полусная фигура (001) соли.

3. Расчет температурных характеристик соляного массива в окрестности тепловыделяющего источника [5,6]

Захоронение радиоактивных отходов можно представить в виде сферического тепловыделяющего контейнера радиусом $R[\text{м}]$ и мощностью теплового излучения $W[\text{Вт}]$, внутри и вне которого находится природная каменная соль. Используя уравнение теплопроводности, имеющее вид

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a^2 \Delta T + f,$$

было получено в явном виде выражение для функции температуры $T(r, t)$, определяющей температуру соли на расстоянии r м от центра хранилища через время t [с]: $T(r, t) = T_0 + T(a, R, r, t)$, где $a^2 = \frac{k}{C\rho}$ – коэффициент температуропроводности ($\rho = 2180$ кг/м³ – плотность; $k = 9.923$ Вт/м°C – коэффициент теплопроводности; $C = 869.1$ Дж/кг°C – теплоемкость соли).

Расчеты проводились при начальной температуре соли $T_0 = 20^\circ\text{C}$, радиусе контейнера $R = 5$ м, интенсивностях излучения до $f = 100$ Вт/м³ и времени хранения до 100 лет (что соответствует условиям хранения низко- и среднеактивных отходов в отсутствие искусственного охлаждения). Результаты представлены в виде графика (рис.2).

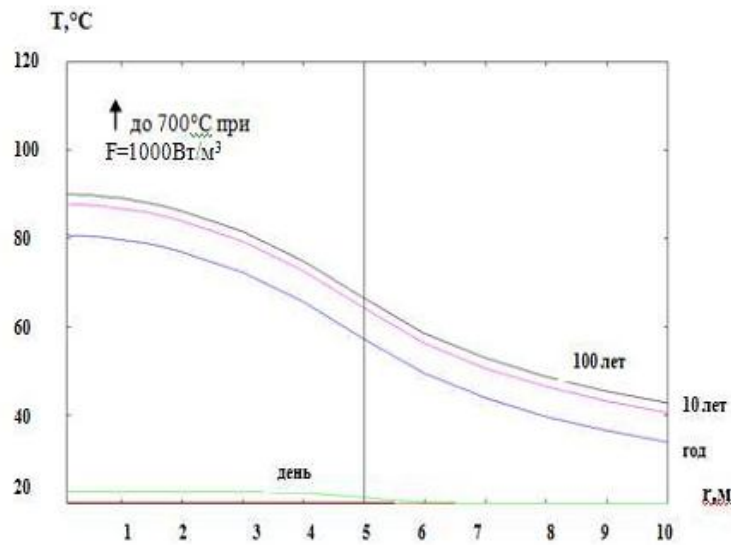


Рис. 2: Распределение температуры в радиусе 10 м от источника тепла (каверна радиусом 5 м) интенсивностью 100 Вт/м³ (через час, день, год, 10 лет и 100 лет хранения).

Как видно, возникающие температуры при этом не превышают 90°C , а максимальный градиент составляет 0.1°C на 1см .

4.Определение верхней оценки скорости движения капли рассола в кристаллической соли под действием заданного температурного градиента

Механизм движения жидкого включения в поле градиента температуры заключается в следующем [1-4, 8]. В результате повышения растворимости

соли с увеличением температуры у горячей стороны включения возникает недосыщение раствора, а у холодной – пересыщение. Вследствие этого на разогретой стенке включения соль растворяется, посредством диффузии перемещается в растворе вдоль включения и на холодной стенке кристаллизуется. Основным условием стационарного движения включения является равенство последовательных потоков: растворения, диффузии и кристаллизации.

Рассмотрим каплю рассола, находящуюся в бесконечной кристаллической среде соли с заданным постоянным тепловым градиентом. Пусть раствор капли всюду имеет температуру T_0 и концентрацию соли, равную ее концентрации насыщения $C^n(T_0)$, т.е. будем считать, что капля "частично" теплоизолирована и не чувствует градиент температуры окружающей ее соли.

Начальные условия. В момент времени $t = 0$ снимаем теплоизоляцию и предполагаем, что в капле, "вокруг" T_0 , мгновенно устанавливается температурное распределение, соответствующее внешнему тепловому градиенту соли.

Будем рассматривать модель "одномерной капли", под которой понимается капля в форме параллелепипеда, длиной L , с фронтальной и тыльной поверхностями, площадью S . Боковые грани считаем нейтральными по отношению к процессам растворения и кристаллизации (т.е. растворение и кристаллизация разрешены только на фронтальной и тыльной поверхностях капли). Очевидно, что в этом случае процессы диффузии, определяющие изменение концентрации соли вдоль капли со временем, будут описываться одномерным уравнением. Этот факт оправдывает название модели – *одномерная капля*.

Разделим каплю на N клеток размером $\Delta x = L/N$. Согласно заданному постоянному тепловому градиенту соли $dT/dx = (T_1 - T_2)/L > 0$, температура первой клетки (фронтальной стенки) капли будет равна $T_1 > T_0$ и соответствующая концентрация насыщения $C^n(1) = C^n(T_1) > C^n(T_0)$. В последней клетке температура имеет значение $T_2 < T_0$, а концентрация насыщения $C^n(N) = C^n(T_2) < C^n(T_0)$.

Поскольку, согласно начальному распределению концентрации соли в капле в непосредственной близости фронтальной её части, появляется некоторое недосыщение, то считаем, что возможен поток растворения соли, пропорциональный величине этого недосыщения, т.е. $ПОТОК_r = K_r[C^n(1) - C(1)]$. Коэффициент K_r называется скоростью растворения. Он характеризует максимальное количество соли, которое может раствориться на передней стенке капли при данном недосыщении раствора за единицу времени, и определяет, на сколько может, в принципе, сдвигаться граница растворяющейся соли при

имеющимся недосыщением раствора капли за единицу времени [см/с].

Как известно, для растворения (разрушения кристаллической решетки) требуется определенное количество энергии. То есть при растворении граничный слой рассола, отдавая энергию, охлаждается. Будем считать, что это снижение температуры компенсируется мгновенным притоком тепловой энергии из окружающей каплю кристаллической матрицы соли. Таким образом, зависимость концентрации насыщения рассола от положения в капле $C^n(x)$ определяется заданным постоянным во времени температурным распределением $T(x)$.

На тыльной поверхности капли из-за наличия пересыщения в стартовый момент времени возможен поток кристаллизации соли, пропорциональный величине этого пересыщения, т.е. $ПОТОК_k = K_{kr}[C(N) - C^n(N)]$. Коэффициент K_{kr} называется скоростью кристаллизации. Он характеризует максимальное количество соли, которое может кристаллизоваться на задней стенке капли при данном пересыщении раствора за единицу времени, и определяет перемещение кристаллизующейся поверхности при указанном пересыщении за единицу времени [см/с]. Физически ясно, что скорость кристаллизации всегда будет меньше скорости растворения, $K_r > K_{kr}$. Как растворение, так и кристаллизация являются хаотическими процессами. Очевидно (при одинаковых теплоэнергетических условиях), что процессы разрушения упорядоченной кристаллической решетки NaCl на фронтовой поверхности будут происходить легче, чем создание упорядоченных элементов этой решетки из неупорядоченных молекул соли рассола на тыльной стенке капли.

В процессе кристаллизации выделяется энергия, и граничный слой рассола нагревается (его пересыщение падает). Однако по аналогии с процессом растворения мы считаем, что освобождаемая энергия (тепло) мгновенно передается от новообразованного слоя соли в окружающую среду, и температура тыльной поверхности капли остается равной T_2 .

Эти модельные упрощающие предположения, пренебрегающие наличием связи между динамикой растворения и кристаллизации и тепловыми характеристиками сложной системы "капля - кристаллическая матрица", допустимы для верхних оценок скорости движения капель. Любой учет пространственно-временного распределения тепловой энергии системы может привести только к замедлению процессов, определяющих это движение.

Другим упрощающим моментом, также оправданным для верхних оценок скоростей, является пренебрежение пороговыми эффектами движения капель, связанными с существованием "критических" концентраций недосы-

щения C_r^{kr} для процесса растворения и пересыщения C_k^{kr} (кристаллизации).

Рассматривая процесс растворения частей кристаллической стенки микроскопически, становится ясно, что из-за существования эффекта насыщения объем (длина) пограничного слоя рассола, в котором растворяется часть кристаллической стенки, должен быть намного больше объема (длины) этой растворяемой области. В то же время, растворенный материал должен немедленно уноситься в глубину пограничного слоя, поскольку в противном случае следующий слой стенки уже не сможет раствориться. Скорость переноса будет зависеть от степени недосыщения в пограничном слое рассола. Это в свою очередь определяется интенсивностью диффузии молекул рассола из пограничного слоя в глубину капли, а следовательно, и диффузией внутри капли, которая будет зависеть в том числе и от ее размера. Поэтому должно существовать некоторое критическое значение недосыщения, при котором в результате диффузии растворенной части соли не освобождается объем рассола у края капли, необходимый для растворения очередного слоя кристаллической стенки. При этом процесс растворения соли становится невозможным. Аналогичную картину можно рассмотреть и для процесса кристаллизации на противоположном крае капли. Таким образом, поскольку степени перенасыщения или недосыщения в пограничных слоях зависят, в конце концов, от градиента температуры, диффузионных характеристик рассола и размера капли, то рассмотренные критические значения приведут к пороговым явлениям, т.е. капли слишком маленького размера будут вообще неподвижны. И опять же, пренебрежение этими эффектами не влияет на верхнюю оценку скоростей движения капель.

Все кинематические процессы будем описывать с помощью дискретного аппарата. Так, численный расчет возникающих в капле потоков осуществляется через равные промежутки времени Δt . Выбор величины Δt поясним позже.

Первый временной шаг. За первый временной период Δt концентрация соли в первой клетке увеличится и станет равной

$$C_{нов}(1) = C_{стар}(1) + ПОТОК_r * \Delta t / \Delta x ,$$

а в последней клетке уменьшится:

$$C_{нов}(N) = C_{стар}(N) - ПОТОК_k * \Delta t / \Delta x .$$

Второй временной шаг. Поскольку возникает неравномерное распределение содержания соли в клетках капли, то за следующий промежуток времени ($t = 2\Delta t$) будет происходить диффузия молекул раствора от первой

к последней клетке капли. В нашем случае диффузия описывается одномерным уравнением $dC/dT = Dd^2C/dx^2$. Из этого уравнения для функции $C(n)$, представляющей собой концентрацию соли в n -ой клетке капли, в простейшем приближении для производных можно получить соотношения

$$C_{t+1}(1 < n < N) = C_t(n) + (D\Delta t/\Delta x^2)[C_t(n+1) - 2C_t(n) + C_t(n-1)],$$

$$C_{t+1}(1) = C_t(1) + (D\Delta t/\Delta x^2)[C_t(n+1) - C_t(n)],$$

$$C_{t+1}(N) = C_t(N) + (D\Delta t/\Delta x^2)[C_t(n-1) - C_t(n)].$$

Диффузионный поток будет пропорционален разнице между содержанием соли в соседних клетках капли. Так, например, срединный диффузионный поток равен

$$ПОТОК_d = (D/\Delta x)[C(n_s - 1) - C(n_s)].$$

За этот же промежуток времени снова возможны процесс растворения в первой клетке и кристаллизация соли в последней клетке капли.

В последующие временные шаги будем вычислять потоки всех трех происходящих процессов до тех пор, пока они не станут с указанной точностью равными между собой. Это соответствует установлению стационарного режима движения капли.

Таким образом, нам известно постоянное количество соли, растворяющееся, диффундирующее и кристаллизующееся в капле за единицу времени. Если разделить эту величину на плотность чистой соли, то получится искомое значение скорости движения капли.

Теперь поясним выбор введенных постоянных, а именно K_r , K_{kr} , Δx , Δt . Значение для скорости растворения мы взяли из статьи, посвященной кинетике растворения монокристаллов хлорида натрия в воде [10]. Она составила порядка $6 \cdot 10^{-3}$ см/с. Как уже было отмечено выше, $K_{kr} < K_r$, поэтому при расчетах рассматривались три случая: $K_{kr} = K_r$ (предельный), $K_{kr} = K_r/5$, $K_{kr} = K_r/10$. Ясно, что чем меньше величина K_{kr} , тем большее пересыщение остается на тыльной поверхности капли, и тем медленнее она движется.

Выбор величины Δx зависит от количества клеток N ($\Delta x = L/N$). Пусть, например, $N = 100$ клеток. Тогда $\Delta x = L/100$.

Приведенные выше диффузионные соотношения будут приводить к разумным результатам только в том случае, если выполняется условие $D\Delta t/\Delta x^2 \leq 1/4$ (условие устойчивости указанных соотношений). Таким образом, принимаем, что $\Delta t = \Delta x^2/4D$.

В табл. 2 представлены результаты расчетов скоростей движения включений, находящихся на расстоянии 1 м от сферического теплового источника интенсивностью 100 Вт/м^3 . Начальная температура $T_0=58.45^\circ\text{C}$, $\text{grad } T = 8 \cdot 10^{-2}^\circ\text{C}$ на 1 см, размеры включений 0.05-2 мм. По приведенным данным был построен график зависимости скорости движения капель от их размера (рис.3). Полученная зависимость хорошо согласуется с литературными данными и демонстрирует тот факт, что большие по величине включения движутся быстрее.

Табл. 2. Скорости "одномерного" включения, находящегося в соли на расстоянии 1 м от края ($R=5\text{м}$) сферического теплового источника интенсивностью 100 Вт/м^3 .

Размер включения (L), см	Скорости (см/с) в зависимости от соотношения K_1 и K_2		Путь S (см), пройденный включением за время t				
			час	день	год	10 лет	100 лет
0.01	$K_1=K_2$	$0.420151 \cdot 10^{-10}$	$1.51 \cdot 10^{-7}$	$3.63 \cdot 10^{-6}$	$1.32 \cdot 10^{-3}$	$1.32 \cdot 10^{-2}$	0.132
	$K_1=K_2$	$0.280777 \cdot 10^{-10}$	$1.01 \cdot 10^{-7}$	$2.42 \cdot 10^{-6}$	$8.85 \cdot 10^{-4}$	$8.85 \cdot 10^{-3}$	0.088
	$K_1=10K_2$	$0.198477 \cdot 10^{-10}$	$0.71 \cdot 10^{-7}$	$1.71 \cdot 10^{-6}$	$6.26 \cdot 10^{-4}$	$6.26 \cdot 10^{-3}$	0.063
0.05	$K_1=K_2$	$0.524252 \cdot 10^{-10}$	$1.89 \cdot 10^{-7}$	$4.53 \cdot 10^{-6}$	$1.65 \cdot 10^{-3}$	$1.65 \cdot 10^{-2}$	0.165
	$K_1=5K_2$	$0.466466 \cdot 10^{-10}$	$1.68 \cdot 10^{-7}$	$4.03 \cdot 10^{-6}$	$1.47 \cdot 10^{-3}$	$1.47 \cdot 10^{-2}$	0.147
	$K_1=10K_2$	$0.409980 \cdot 10^{-10}$	$1.48 \cdot 10^{-7}$	$3.54 \cdot 10^{-6}$	$1.29 \cdot 10^{-3}$	$1.29 \cdot 10^{-2}$	0.129
0.1	$K_1=K_2$	$0.541007 \cdot 10^{-10}$	$1.95 \cdot 10^{-7}$	$4.67 \cdot 10^{-6}$	$1.71 \cdot 10^{-3}$	$1.71 \cdot 10^{-2}$	0.171
	$K_1=5K_2$	$0.508504 \cdot 10^{-10}$	$1.83 \cdot 10^{-7}$	$4.39 \cdot 10^{-6}$	$1.60 \cdot 10^{-3}$	$1.60 \cdot 10^{-2}$	0.160
	$K_1=10K_2$	$0.472983 \cdot 10^{-10}$	$1.70 \cdot 10^{-7}$	$4.07 \cdot 10^{-6}$	$1.49 \cdot 10^{-3}$	$1.49 \cdot 10^{-2}$	0.149
0.15	$K_1=K_2$	$0.546833 \cdot 10^{-10}$	$1.97 \cdot 10^{-7}$	$4.72 \cdot 10^{-6}$	$1.72 \cdot 10^{-3}$	$1.72 \cdot 10^{-2}$	0.172
	$K_1=5K_2$	$0.524252 \cdot 10^{-10}$	$1.89 \cdot 10^{-7}$	$4.53 \cdot 10^{-6}$	$1.65 \cdot 10^{-3}$	$1.65 \cdot 10^{-2}$	0.165
	$K_1=10K_2$	$0.498520 \cdot 10^{-10}$	$1.79 \cdot 10^{-7}$	$4.31 \cdot 10^{-6}$	$1.57 \cdot 10^{-3}$	$1.57 \cdot 10^{-2}$	0.157
0.2	$K_1=K_2$	$0.549793 \cdot 10^{-10}$	$1.98 \cdot 10^{-7}$	$4.75 \cdot 10^{-6}$	$1.73 \cdot 10^{-3}$	$1.73 \cdot 10^{-2}$	0.173
	$K_1=5K_2$	$0.532498 \cdot 10^{-10}$	$1.92 \cdot 10^{-7}$	$4.60 \cdot 10^{-6}$	$1.68 \cdot 10^{-3}$	$1.68 \cdot 10^{-2}$	0.168
	$K_1=10K_2$	$0.512352 \cdot 10^{-10}$	$1.84 \cdot 10^{-7}$	$4.43 \cdot 10^{-6}$	$1.62 \cdot 10^{-3}$	$1.62 \cdot 10^{-2}$	0.162

Ранее уже проводились эксперименты по наблюдению движения капельки водного раствора в соли под действием градиента температуры [4]. При этом были выявлены некоторые закономерности, в частности: а) движущаяся капля деформируется в направлении, перпендикулярном тепловому градиенту (сплющивается); б) после достижения некоторой степени деформации

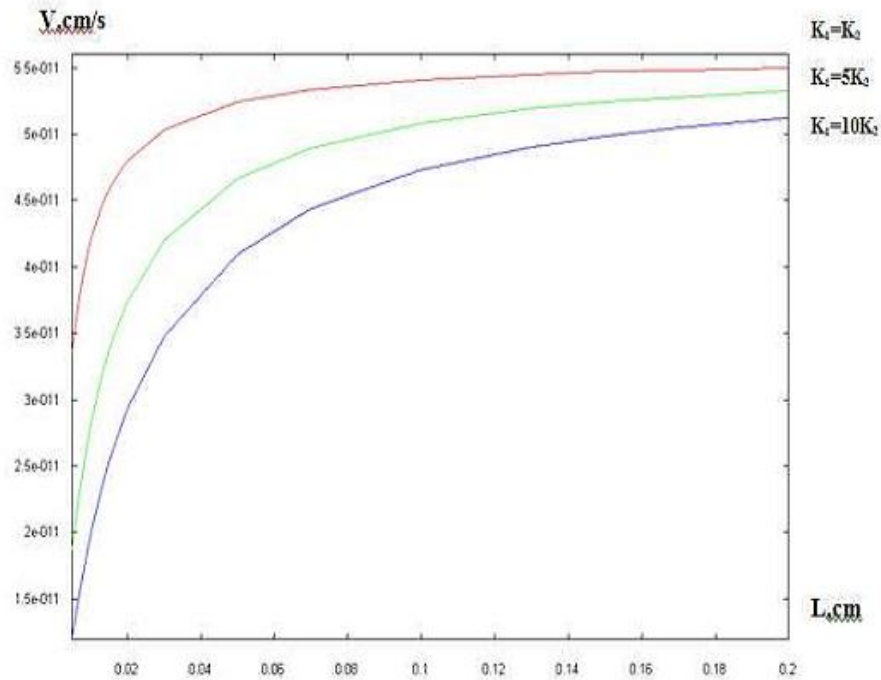


Рис. 3: Зависимость скорости движения включений от их размера при различных соотношениях между скоростью растворения (K_1) и кристаллизации (K_2).

края капли начинают отставать от движения ее средней части; и другие. Для систематического изучения и понимания этих интересных явлений потребовалось бы множество весьма тонких и трудоемких экспериментов. Однако, чтобы показать природу этих эффектов уже достаточным будет рассмотреть модель двумерной капли. Она представляет собой (аналогично одномерному случаю) параллелепипед, у которого процессы растворения и кристаллизации разрешены не только на фронтальной и тыльной, но и на двух взаимно противоположных боковых поверхностях. В этом случае при описании диффузии соли вдоль капли появляется система двумерных уравнений [9]. Опять, рассматривая происходящие процессы дискретно и внося некоторые допущения, можно её, в принципе, разрешить и в результате получить представление о поведении и характере движения двумерной капли. Усложняющим моментом по сравнению с одномерным случаем является то обстоятельство, что сильно упрощающий подход рассмотрения потоков и их выравнивания в стационарном режиме больше нельзя применять. Движение капли и ее деформацию необходимо описать в реальном пространстве, соблюдая при этом сохранение

объема воды рассматриваемой капли. Попыткам продемонстрировать эффекты, наблюдающиеся в экспериментах, посвящены текущие работы, о результатах которых будет сообщено отдельно.

Заключение

Таким образом, по проделанной работе можно сделать следующие выводы.

1. Проведены структурные в диапазоне температур 100-300°C исследования порошкового образца каменной соли. Определена температурная зависимость решеточных напряжений.

2. Измерены полюсные фигуры (ПФ) образца природной каменной соли, которые характеризуют достаточно слабую кристаллографическую текстуру породы.

3. Вычислено температурное распределение, возникающее в соляной породе вблизи размещенного в ней теплоизлучающего источника.

4. Получена теоретическая оценка максимальных скоростей движения включений в монокристалле NaCl под действием градиента температур, создаваемого радиоактивным источником интенсивностью излучения порядка 100Вт/м³.

Литература

1. Anthony T.R., Cline H.E. Thermal Migration of Liquid Droplets through Solids // Journal of Applied Physics.- 1971. - 42;9. - P.3380-3387.
2. Гегузин Я.Е., Кружанов В.С. Движение жидкого включения в монокристалле в поле градиента напряжений // Кристаллография.- 1979.- 24;4.- С.886-888.
3. Гегузин Я.Е., Дзюба А.С., Кружанов В.С. Движение газожидких включений в кристалле в поле температурного градиента // Кристаллография. - 1978.- 23;4 - С.880-882.

4. Гегузин Я.Е., Дзюба А.С., Кружанов В.С. Исследование поведения жидких включений в кристалле в поле температурного градиента // Кристаллография. – 1975.– 20;2.– С.383-391.
5. Никитин А.Н., Родкин М.В., Юрченко О.А., Иванкина Т.И., Васин Р.Н. К вопросу об экологической безопасности захоронений ВАО // Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле. Материалы седьмой международной конф. Борок, 25-26 сентября 2006.– ГЕОХИ, ИФЗ: М., 2006.– С.53-55.
6. Никитин А.Н., Кулаковский А.Л., Родкин М.В., Юрченко О.А., Иванкина Т.И., Васин Р.Н. О некоторых механизмах проницаемости горных пород в связи с геологической безопасностью хранилищ ВАО // Геофизические исследования. – 2006. – 6. – С.85-95.
7. Никифоров А.С., Полуэктов П.П., Поляков А.С. О миграции включений рассола в хранилище радиоактивных отходов высокого уровня активности // ДАН СССР. – 1987.– 294;4.– С.860-864.
8. Pigford T.H. Migration of brine inclusions in salt // Nucl. Technology. – 1982.– 56;1.– P.93-101.
9. Тарасевич Ю.Ю., Константинов В.О., Аюпова А.К. Моделирование дендритного роста кристаллов соли в биологических жидкостях // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. серия Естественные науки. – 2001. – Спецвыпуск.
10. Товбин М., Барам О. Кинетика растворения монокристаллов хлорида натрия // Журнал физической химии. – 1949.– XXIII.– С.406-412.

THERMAL AND TRANSPORT FEATURES OF THE ROCK HALOID SALT ARISING NEAR TO THE RADIOACTIVE SOURCE PLACED IN THEM

O.A.Pocheptsova¹⁾, Z. Matthies²⁾, A.N. Nikitin²⁾

¹⁾Belgorod State University, Studencheskaja St., 14, Belgorod, 308007, Russia

e-mail: yurchenko_olga@mail.ru

²⁾Joint Institute for Nuclear Research, Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow region, Russia

The results of the study of natural rock salt (NaCl) properties are given in the work. Urgency is connected with that the given sort of rock is the preferred one on some its characteristics for the construction of underground vaults of nuclear waste and reservoirs of the natural gas. However, under some definite conditions, the permeability increases in salts that is connected with their high dissolutions. Some liquid inclusions nearly always being present in the rock salt may begin the directed motion at presence of the gradient force (caused by temperature or mechanical tensions). This sharply worsens the barrier properties of the vault. In this connection, the experimental neutronographic study of the texture and the temperature dependency of internal tensions are fulfilled in rock salt samples. The method of the determination of temperature value and heat gradient in salts near the heat radiating source is considered. Besides, the calculation method for possible maximal velocities of inclusion motions is proposed at the specified conditions.

Key words: barrier properties of vaults, liquid inclusions, nuclear waste, salt solutions, heat extracted source.