

## ГЕОТЕХНОЛОГИИ И ГЕОТЕХНИКА

УДК 622.17

### **ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССОВ КОНДЕНСАЦИИ В СОЛЕОТВАЛАХ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА СОЛЕОТХОДОВ**

**Кологривко А.А.**

*Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Представлены результаты исследований кинетики гидросорбционных процессов в солеотвалах при флотационном методе обогащения калийных руд Старобинского месторождения. Изложено влияние конденсации в солеотвалах на прочностные свойства складированных солеотходов.*

Карстовые полости и тракты, значительная пористость и кавернозность верхних слоев солеотвалов, высокая гигроскопичность и растворимость солеотходов являются условиями развития процессов конденсации в теле солеотвала [1-3].

Образующаяся конденсатная влага является высокоминерализованным рассолом со значительным содержанием солей NaCl и KCl. Усредненный химический состав конденсационных рассолов (рН = 5,48), отобранных из штолен солеотвалов 1РУ и 2РУ в условиях Старобинского месторождения представлен в таблице 1.

**Таблица 1**  
**Усредненный химический состав и плотность конденсационных вод  
солеотвалов Старобинского месторождения**

Катионы, г/л				Анионы, г/л			Сухой остаток
Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
121,85	4,96	0,053	2,36	192,34	4,04	0,048	325,14

Конденсационные рассолы выходят из тела солеотвала в виде родников и источников, способствующих развитию водно-эрозионных

процессов. Образование конденсата наблюдается круглогодично. В холодный период года этот процесс замедляется, что выражается как в меньшем количестве конденсата, так и в образовании сталактитов и сталагмитов высотой до 10-15 см, которые с наступлением теплого периода исчезают. Количество конденсатной влаги, поступающей с кровли штольни, составляет за сутки холодного периода 0,1-0,8 мм, теплого – 4,0-7,0 мм. Увлажнение внутреннего контура штолен происходит из-за образования конденсата из паров воздуха при его охлаждении до температуры термической конденсации и гидросорбционных процессов, протекающих на контакте молекулярной конденсации.

Рассматриваемые процессы, приводят к образованию на поверхности солей агрессивной конденсатной влаги, разрушающей структурные связи солеотходов, и высвобождающей заключенную в порых первичную рапу и кристаллизационную воду при растворении солей. Величина конденсационных рассолов может быть выражена как сумма следующих составляющих: количество влаги, выпадающее на единицу площади свода выработки вследствие охлаждения водяных паров воздуха (термическая конденсация); количество влаги, образовавшейся в результате гидросорбционных процессов на единице площади свода выработки (молекулярная составляющая); количество влаги, образовавшейся на единице площади свода выработки за счет высвобождения порового раствора и кристаллизационной воды при растворении солей конденсатной влагой.

Термическая конденсация проявляется в теплый период года, когда абсолютная влажность воздуха на поверхности земли выше абсолютной влажности воздуха в карстовых полостях. Образование конденсатной влаги происходит при наличии карстовых полостей, обуславливающих температурных перепад поступающего в них воздуха, доступе и нагнетании в карстовые полости воздуха при определенной силе ветра, открытой поверхности полостей.

Количество конденсата, образующегося вследствие охлаждения воздуха, определяется по разности содержания водяных паров в воздухе, входящем извне и находящемся внутри соляных выработок или полостей.

Количество конденсационной влаги, поступающей за 1 год с 1 га солеотвалов за счет термической конденсации в карстовых полостях, составляет около 130 м<sup>3</sup>. В пересчете на количество в твердом виде (при минерализации рассолов 0,325 т/м<sup>3</sup>) эта величина составит 50 т солей в год с 1 га, что в пересчете на 1 м<sup>2</sup> площади солеотвалов в линейных единицах температурная составляющая конденсатной влаги тела солеотвала составит 13 мм/год.

Механизм образования молекулярной конденсации, являющейся результатом гидросорбционных процессов на контакте «соляная порода – влажный воздух» следующий.

Силовые поля атомов соляных кристаллов, находящихся на поверхности, лишь частично компенсируются силовыми полями соседних атомов, а свободная часть их способна вступать во взаимодействие с молекулами воды, содержащимися в водяном паре атмосферы. Это взаимодействие заключается в притягивании молекул воды из воздуха и в обратном процессе отдачи молекул воды, ранее осевших на поверхности кристаллов соли, в окружающий воздух при низких значениях упругости его водяных паров.

При определенных условиях влажности и температуры окружающего воздуха на поверхности частиц соли в сравнительно короткий срок возникает пленочная рыхлосвязанная вода, обладающая высокой агрессивностью по отношению к легкорастворимым солям. Она растворяет соли, насыщается ими и становится пленкой насыщенного раствора. После этого процесс поступления влаги из воздуха к поверхности образовавшейся пленки рассолов интенсифицируется, так как упругость пара в тончайшем слое над рассолом значительно меньше упругости пара пограничного слоя атмосферного воздуха, насыщение его достигается при значительно меньшей упругости пара, поэтому он становится насыщенным водяным паром, избыток которого конденсируется на поверхности солей. Последнее обстоятельство вызывает образование на поверхности солей слоя свободной гравитационной воды, стекающей вниз в виде насыщенных рассолов.

Толщина пленки воды, которая может быть удержана силами молекулярного взаимодействия между молекулами солей и водяных паров, определяется их энергетическим потенциалом, условиями контакта (микронеровностей поверхности солей, их пористостью и влажностью, т.е. возможностью развития процессов сорбции вглубь солей).

Анализ исследований по изучению кинетики гидросорбционных процессов, происходящих в солеотходах, образованных при флотационном методе обогащения (исследовались образцы с различными влажностью, пористостью, удельной поверхностью соприкосновения с атмосферным воздухом в диапазоне его относительной влажности 50-98 % при температуре 1-35 °С) позволяет считать, что:

– порогом гигроскопичности является значение его относительной влажности 74-75 %;

– скорость процессов сорбции молекул водяного пара воздуха кристаллами исследуемых солей находится в прямой зависимости от температуры воздуха (чем выше температура воздуха, тем интенсив-

нее процессы сорбции);

– отсутствие сорбции или весьма замедленное ее протекание при температуре воздуха ниже 3-5 °С позволяет выделить эти значения температуры воздуха вторым порогом гигроскопичности;

– скорость насыщения исследуемых образцов солеотходов сорбционной влагой зависит от площади контакта образца с окружающим воздухом (при одинаковых значениях контактирующих площадей процессы сорбции развиваются интенсивнее в образцах с большей пористостью);

– процесс гидросорбционного поглощения соляными кристаллами молекул воды из воздуха при его температурно-влажностном режиме выше установленных пределов гигроскопичности (при относительной влажности воздуха 74-75 % и температуре 3-5 °С) продолжается во времени непрерывно, до полного растворения солей образующейся пленкой рыхлосвязанной воды;

– растворение солей, сопровождающее процессы сорбции, в значительной степени осложняет изучение последних, т.к. изменяется структура и состав исследуемых образцов (например, пористость, характер структурных связей, содержание и виды влаги в них).

Более точная оценка молекулярной конденсации солеотходов получена с использованием гигростата (таблица 2). Установлено, что значения относительной влажности воздуха 75-78 % соответствуют влажностному порогу гигроскопичности для солеотходов.

**Таблица 2**

**Экспериментальные данные определения молекулярной конденсации солеотходов различной плотности**

Пористость солеотходов, %	35	20	15
Количество сорбируемой влаги на единицу площади солеотходов, мм/сут	0,30-0,35	0,22-0,26	0,18-0,20

В условиях постоянной температуры воздуха 20 °С и относительной влажности 98 % происходило непрерывное насыщение образцов солеотходов конденсационной влагой до полного их растворения.

Анализ изучения опытов демонстрирует приращение веса образцов за счет конденсации паров при одновременном увеличении температуры и влажности воздуха. Эти факторы являются доминирующими при образовании конденсационных рассолов в солеотвалах.

Уменьшение температуры воздуха ниже нулевой при относительной его влажности, выше влажностного порога гигроскопичности (82-88 %), вызывало потерю влаги образцами. Уменьшение относи-

тельной влажности воздуха при постоянной его температуре вызывало замедление процесса конденсации. Снижение влажности воздуха ниже порога гигроскопичности (75-76 %) конденсацию прекращало, и происходила обратная потеря влаги образцами.

Итак, изменение пористости образцов вызывает изменение конденсации, зависящей от величины контактирующей с воздухом солевой поверхности, а, следовательно, и растворимости солеотходов. Так, для кристаллов галита величина молекулярной конденсации составляет 0,25 мм/сут. Для солевых образцов с пористостью 30 % и постоянных температур и относительной влажности воздуха (соответственно 20 °С и 98 %) конденсация составляет 0,33 мм/сут.

Для расчета годового количества конденсатной влаги, образующейся вследствие гидросорбционных процессов в теле солеотвалов, можно принять, что в течение 250 дней годового периода соблюдаются условия, необходимые для их проявления, т.е. относительная влажность воздуха 75-80% и температура 5-8 °С. Для солеотходов верхней зоны выветривания с пористостью 30 % скорость гидросорбционных процессов равна 0,33 мм/сут, что составляет порядка 75 мм/год. Суммарное количество конденсата, получаемое в результате температурного охлаждения воздуха в карстовых полостях и за счет гидросорбционных процессов составляет 88 мм/год.

Это количество конденсатной влаги, разрушая структурные связи солеотходов, высвобождает заключенную в порах первичную рапу. При влажности солеотходов 5 % и пористости 30 % вследствие растворения структурного каркаса и освобождения порового рассола, расход количества влаги составит порядка 22 мм/год.

Таким образом, общее количество влаги, образующейся за счет термической конденсации, гидросорбционных процессов и сопровождающих их процессов растворения солей, составит 110 мм/год.

В пересчете на количество солей в твердом виде при минерализации конденсационных рассолов 0,325 т/м<sup>3</sup> эта величина составит 400 т/год с 1 га. Она выражает активность карстовой денудации тел солеотвалов за счет развивающихся в них процессов термической и молекулярной конденсации. Эту величину можно рассмотреть как сток конденсационных рассолов из тел солеотвалов.

Анализ влияния конденсации в солеотвалах на физико-механические свойства складированных солеотходов [1, 4], позволяет представить в части изменения во времени прочностных свойств солеотходов следующие выводы:

– образующаяся конденсатная влага является высокоминерализованным рассолом со значительным содержанием солей NaCl и KCl,

которые выходят из тела солеотвалов в виде родников и источников, способствующих развитию водно-эрозионных процессов в теле солеотвалов, причем, как в холодный, так и в теплый периоды года наблюдается непрерывный процесс образования конденсата, который в холодный период замедляется, а с наступлением теплого периода исчезает;

– относительная влажность воздуха 75-78 % соответствует влажностному порогу гигроскопичности для солеотходов;

– в течение годового периода соблюдаются условия для проявления гидросорбционных процессов в теле солеотвалов (для солеотходов верхней зоны выветривания с пористостью 30 % скорость гидросорбционных процессов составляет порядка 75 мм/год, суммарное количество конденсата, получаемое в результате температурного охлаждения воздуха в карстовых полостях и за счет гидросорбционных процессов составляет 88 мм/год);

– при влажности солеотходов порядка 5 % и пористости 30 % вследствие растворения структурного каркаса и освобождения порового рассола, расход количества влаги составляет порядка 22 мм/год;

– общее количество влаги, образующейся за счет термической конденсации, гидросорбционных процессов и сопровождающих их процессов растворения солей составляет порядка 110 мм/год, что при минерализации конденсационных рассолов 0,325 т/м<sup>3</sup> составляет порядка 400 т/год с 1 га (сток конденсационных рассолов из тел солеотвалов).

#### **Библиографический список**

1. Колпашиников, Г.А. *Техногенез и геологическая среда* / Г.А. Колпашиников. – Минск: БНТУ. – 2006. – 182 с.

2. Смычник, А.Д. *Геоэкология калийного производства* / А.Д. Смычник, Б.А. Богатов, С.Ф. Шемет. – Минск: ЗАО «Юнипак». – 2005. – 204 с.

3. Богатов, Б.А. *Открытые горные работы калийного производства в Беларуси* / Б.А. Богатов, А.Д. Смычник, С.Ф. Шемет. – Минск: УП «Технопринт». – 2004. – 255 с.

4. Кологривко, А.А. *Влияние составов, процессов дегидратации и консолидации на прочностные свойства солеотходов* / А.А. Кологривко // *Новые идеи в науках о Земле : сб. материалов XIII междунар. науч.-практич. конф., Москва, 5-7 апр. 2017 г. : в 2 т. / Рос. гос. геологоразвед. ун-т им. С. Орджоникидзе ; редкол.: В.И. Лисов, В.А. Косьянов, О.С. Брюховецкий. – Москва, 2017. – Т.1. – С. 358.*

