

Ю.А. Килин, И.И. Минькевич

Пермский государственный национальный
исследовательский университет, Пермь

РАСТВОРИМОСТЬ И ГИДРАТАЦИЯ ГИПСОАНГИДРИТОВ

Гипсоангидритовые породы имеют широкое распространение в верхней части земной коры, по данным Г.А.Максимовича (1962) площадь занятая обнаженными и погребенными гипсами и ангидритами составляет 7 млн. км². Изучение растворимости, гидратации ангидритов, дегидратации гипсов является важной задачей карстоведения. В природной обстановке не всегда могут возникать условия необходимые для гидратации, и процесс может быть ограничен одной его фазой, т.е. растворением. В 1983-1992 гг сотрудниками Института карстоведения и спелеологии РГО К.А.Горбуновой, И.И.Минькевич был проведен многолетний эксперимент по растворимости гипса и ангидрита. Сделаны выводы, что полученные данные об отсутствии дефицита насыщения, не означают прекращения процессов растворения гипса и ангидрита, процесс протекает постоянно, активизируясь в весенне-летний период. Процесс гидратации ангидрита зависит от степени его увлажнения, в зоне постоянного увлажнения гидратация идет без увеличения объема породы. В условиях недостаточного увлажнения (зона аэрации) гидратация идет с увеличением объема, что приводит к деформациям вышележащих пород.

Ключевые слова: Гипсоангидриты, растворимость, гидратация, многолетний эксперимент по растворимости, гидратационные деформации.

DOI: 10.17072/chirvinsky.2026.100

Введение. Сульфатные породы с момента накопления их в морских бассейнах претерпевают изменения, диагенетический цикл происходит по схеме гипс – ангидрит – гипс. После опускания поверхности на глубину 500-600м происходит дегидратация гипса и переход его в ангидрит, при подъеме территории в приповерхностной зоне 100-120м происходит гидратация ангидрита с образованием гипса. Гидратация идетчерез промежуточную стадию с образованием полугидрата $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$. В условиях равновесия реакция преобразования гипса в ангидрит происходит без образования полугидрата (Дир и др., 1966). Превращение гипса в ангидрит приводит к уменьшению объема и образованию пустот, которые могут, заполняются галитом. При гидратации происходит увеличение объема, по данным Ю.А.Косыгина (1940) до 54-67%. Увеличение может быть разное, т.к. сульфат кальция

в растворенном виде выносятся подземными водами и из перенасыщенных растворов выпадает в осадок в местах их разгрузки. Увеличение объема вызывает деформацию перекрывающих пород. Проявления гидратации фиксируются разными исследователями на глубине от 30 до 150м. Самая большая глубина зафиксирована в штате Луизиана на глубине 180-360м (Д.Ньюлэнд, 1926). По данным К.А.Горбуновой (1965) в районе с Усть-Кишерть в отложениях поповской свиты ангидрит с включениями гипса вскрыт на глубине 61,8м. В обнажениях в Предуралье часто встречаются ангидриты и промежуточные разновидности (полугидраты).

При определенных условиях гидратация ангидрита может протекать без изменения объема. Сам процесс некоторые ученые (С.И.Парфенов, 1967) считают его метасоматическим, т.е гипсы представляют собой продукты частичного растворения ангидритов, вынесенные части которых замещены кристаллизационной водой, при этом давление кровли не является фактором препятствующим гидратации.

В природной обстановке не всегда могут возникать условия необходимые для гидратации, и процесс может быть ограничен одной его фазой, т.е растворением. Кроме этого, при известном соотношении между скоростью движения подземного потока и скоростью растворения процесс может закончиться выпадением гипса из раствора. Сам процесс гидратации ангидрита авторы Н.И. Масленицкий (1937), А.М.Кузнецов (1962) связывают с процессом выщелачивания.

К.А.Горбунова (1979) объясняет процесс гидратации ангидрита степенью его увлажнения, в зоне активного водообмена гидратация идет без увеличения объема породы. В условиях недостаточного увлажнения гидратация идет с увеличением объема и при благоприятной глубине залегания пород приводит к деформациям вышележащих пород.

Результаты исследования. По результатам многолетнего эксперимента по растворимости гипсов и ангидритов в Кунгурской ледяной пещере который проводился Институтом карстоведения и спелеологии РГО с 1.06.1983 по 11.10.1992гг К.А.Горбуновой, И.И. Минькевич, Е.П.Дорофеевым было установлено:

В условиях низких температур относительная скорость растворения ангидрита с доломитом (III) в сульфатных водах в 1,7 раза больше, чем гипса (II). Процессы растворения гипса и ангидрита носят сезонный характер и «контролируются» изменением величины дефицита насыщения воды сульфатом кальция. Денудация образцов примерно за годовой период (373 сут.) составила соответственно: I – 75, II – 50, III – 110 мг/см²/сут · 10⁻³. В целом за весь период эксперимента денудация поверхности образцов составляет 106,5 – 194,8 мг/см²/сут · 10⁻³ (рис.1).

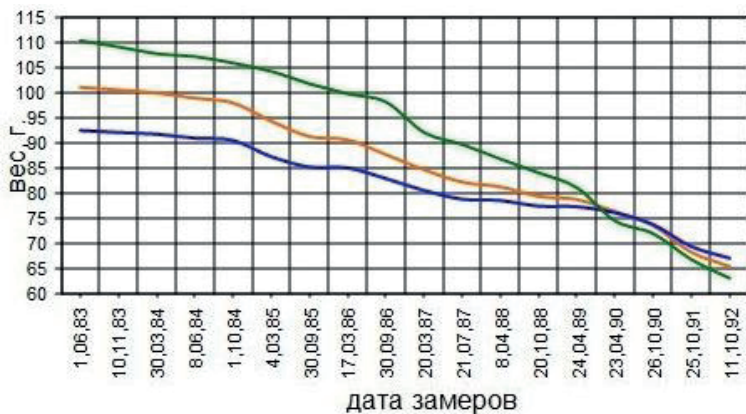


Рис. 1. График изменения веса плиток от времени. Зеленая линия гипс 100%; оранжевая линия ангидрит 90%, гипс 10; синяя линия ангидрит 82%, доломит 18%.

Растворение плиток происходило при невысоких температурах в воде сульфатно-кальциевого состава при ее медленном движении. Температура воды в озере по данным ежемесячных наблюдений за 1983–1985 гг. составляла 3,6–4,0°С при температуре воздуха 3,4–4,4°С. Поверхность озера была покрыта пятнами или сплошной пленкой из кальцита с включением единичных кристаллов гипса.

В результате проведенных исследований установлено, что процесс растворения гипса и ангидрита в условиях пещеры возрастает во времени. Он контролируется структурой, текстурой, составом минеральных зерен, включением плохо растворимых примесей. Одновременно с растворением протекает гидратация ангидрита и залечивание микротрещин с тонковолокнистым - селенитом. На седьмой год наблюдений установлен факт наступления равновесия растворимости ангидрита и гипса.

Растворимость гипсов и ангидритов изучался нами в Иренском карстовом районе и во время экспедиционных исследований в пещерах Подолии и Буковины. Процесс растворения гипсоангидритовых пород связан с выщелачиванием, при котором растворение идет выборочно: сначала растворяется чистый гипс, при этом часть плохорастворимых примесей превращается в мульчу, которая выносятся в весенний период при увеличении водопритока, что вызывает замутнение воды. В карстовых озерах, питающихся родниками, в Ясылской, Тураевской, Каменской депрессиях Иренского карстового района наблюдалось замутнение воды (цвет белый, серый). В составе взвеси присутствуют разнообразные минеральные компоненты (кварц, карбонаты, сульфаты,

фосфаты, глинистые минералы). При перенасыщении вод озер происходит выпадение гипса в виде белых налетов на растительности. Химический состав новообразований был исследован микрозондовым методом в лаборатории наноминералогии ПГНИУ и показал присутствие CaO (81,2%), SO_3 (11,8%), SiO_2 (7%). Это подтверждает, что белые налеты представлены сульфатом кальция (гипсом), а микрозернистая масса является гипсом с примесью халцедона.

В.Н.Катаевым, 2018 установлено, что взвеси являются производными при реакции дегидратации гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, сначала образуется полуводный гипс (полугидрат гипса) $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ который растворяется в воде и образует насыщенный раствор. Растворимость полугидрата составляет 7 г/дм^3 , растворимость гипса $2,1 \text{ г/дм}^3$. При последующей реакции гидратации образуются кристаллы гипса.



Процесс продолжается до полной гидратации.

Приведенные примеры по исследованиям растворимости гипсоангидритовых пород в Кунгурской пещере и химического состава родникового стока показывают неоднозначность протекания процессов растворения и гидратации для зоны полного водонасыщения. На плитках установленных в озерах с сульфатно – кальциевым составом вод повышенной минерализации наблюдались процессы растворения (выщелачивания) с образованием каверн, которые заполнялись селенитом, что привело к незначительному увеличению объема образцов. На образцах ангидрита появлялись налеты и корочки гипса.

Разгрузка перенасыщенных сульфатом кальция родниковых вод приводит к выпадению гипса в местах их разгрузки, т.е процесс идет без увеличения объема. Эти два противоположных процесса связаны с растворением (выщелачиванием) гипсоангидритовых пород в зоне водонасыщения. В переходной зоне, где вода появляется во время паводков, гидратация ангидрита происходит без растворения с увеличением объема, что приводит к деформациям вышележащих пород. Это зоны поверхностной, вертикальной нисходящей и переходной зоны циркуляции-трещинно-карстовых вод. Появление воды здесь связано с количеством атмосферных осадков инфильтрующихся в карстовый массив, а также от паводковых уровней в переходной зоне.

В.Н.Катаевым, 1995 при анализе геолого-структурных особенностей Кунгурской пещеры установлены многочисленные нарушения карстового происхождения, в том числе связанные с процессами гидратации и дегидратации. Отмечены пликативные и дизъюнктивные нарушения, приуроченные к сводовым и присводовым частям пещеры

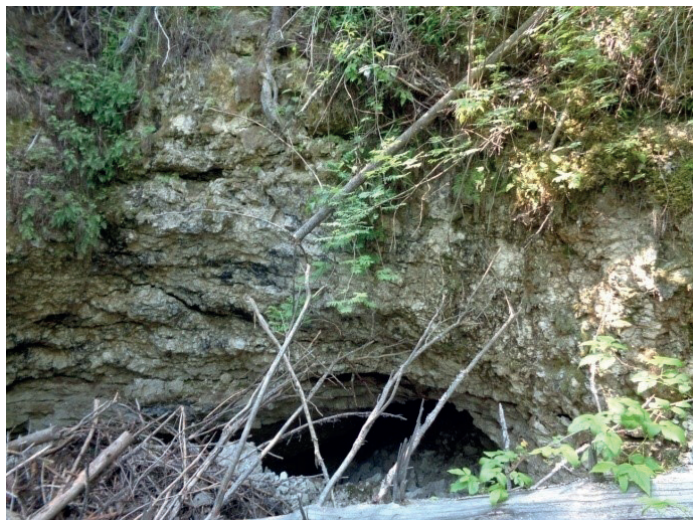


Рис. 2. Вход в пещеру Пономаревская 1, Иренский карстовый район.

(гrotы Колизей, Метеорный, Коралловый, Вышка, Великан). Нарушения представлены изгибами отдельных прослоев, пачек, трещин сжатия. В гrotе Длинный отмечено гидратационное смятие слоев.

На обнажениях гипсоангидритовых пород в Иренском карстовом районе нами зафиксированы многочисленные факты деформаций связанных с процессами гидратации ангидритов. Примером является обнажение гипсов с линзами ангидрита в привходовой части пещеры Пономаревская 1 в виде сферы, с многочисленными гидратационными и гравитационными трещинами (рис.2). Деформации представлены в виде смятия слоев, изгибов, гидратационных трещины сжатия, микро-трещин отдельностей.

И.В.Головачев, 2025 приводит примеры образования гидратационных гипсовых полых бугров пучения в Юго-Восточном Приаралье. Бугры пучения имеют высоту 1,0-1,5м, в поперечнике около 2,0-4,0м (рис.3). Он описывает различные формы проявления деформаций (бугры пучения, плейчатость, складкообразование и т.д.) на поднятиях солянокупольных структур Северного Прикаспия, вызванные гидратацией. Бугры пучения отмечены им в Ахтубинском районе Астраханской области в русле р.Горькая.

Выводы.

1. Сульфатные породы с момента накопления их в морских бассейнах претерпевают изменения, диагенетический цикл происходит по



Рис. 3.Полый бугор гидратации (фото И.В.Головачева).

схеме гипс – ангидрит – гипс. При этом происходят два противоположных процесса гидратация – переход ангидрита в гипс и дегидратация - переход гипса в ангидрит.

2. При процессе гидратации ангидрита в зонах недостаточно увлажненных наблюдается увеличение объема породы, что приводит к деформациям вышележащих пород. При наличии постоянного присутствия воды увеличения объема не происходит.

3. Процессы растворения гипса и ангидрита носят сезонный характер и «контролируются» изменением величины дефицита насыщения воды сульфатом кальция. В образцах образуются микротрещины, каверны, что связано с выщелачиванием. Одновременно с растворением протекает гидратация ангидрита и залечивание микротрещин с тонковолокнистым гипсом - селенитом. На седьмой год наблюдений по растворимости гипсоангидритов в Кунгурской пещере установлен факт наступления равновесия растворимости ангидрита и гипса.

Библиографический список

- Горбунова К.А. Гидратация ангидрита и сопутствующие ей явления / Карст и гидрогеология Предуралья. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1979. С.35-41
- Горбунова К.А. Дорофеев Е.П., Максимович Н.Г., Минькевич И.И. Исследование процесса растворения гипсоангидритов в условиях Кунгурской пещеры. Пещеры. Методика изучения: Межвуз. сб.науч.трудов / Перм. ун-т.- Пермь, 1986. С.39-47.
- Горбунова К.А. Дорофеев Е.П., Минькевич И.И. Экспериментальное изучение

растворимости сульфатных пород подземными водами в Кунгурской пещере. Пещеры. Итоги исследований: Межвуз. сб.науч.трудов /Перм. ун-т.-Пермь,1993. С.140-149.

Головачев И.В. Гидратация гипсов и формы ее проявления в Северном Прикаспии. Гидрогеология и карстоведение вып.22: Межвуз.сб.науч.трудов /Перм. гос.науч.исслед.у-нт.-Пермь,2025. С.92-98.

Минькевич И.И., Грудневский А.Г.Исследование растворимости гипсоангидридов в условиях Кунгурской ледяной пещеры. Кунгурская ледяная пещера, 300 лет научной и туристической деятельности. Мат. Межд. Науч.-практ. конф. Пермь, 2003. С.86-95.

SOLUBILITY AND HYDRATION OF HYPISOANHYDRITES

Yu.A. Kilin, I.I. Minkevich

Perm State National Research University, Perm

iks-org@mail.ru

Gypsum anhydrite rocks are widespread in the upper part of the Earth's crust, according to G.A. Maksimovich (1962), the area occupied by exposed and buried gypsum and anhydrites is 7 million km². The study of solubility, hydration of anhydrites, and dehydration of gypsum is an important task of karst science. In a natural environment, the conditions necessary for hydration may not always occur, and the process may be limited to one phase, i.e. dissolution. In 1983-1992, K.A.Gorbunova and I.I.Minkevich, employees of the Institute of Karst Science and Speleology of the Russian Geographical Society, conducted a long-term experiment on the solubility of gypsum and anhydrite. It is concluded that the data obtained on the absence of saturation deficiency does not mean the cessation of the processes of dissolution of gypsum and anhydrite, the process proceeds constantly, becoming more active in the spring and summer period. The process of hydration of anhydrite depends on the degree of its moisture, in the zone of constant moisture hydration occurs without increasing the volume of the rock. In conditions of insufficient moisture (aeration zone), hydration proceeds with an increase in volume, which leads to deformations of the overlying rocks.

Keywords: Hypso anhydrites, solubility, hydration, long-term experiment on solubility, hydration deformations.