

**МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ  
ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ**



**Материалы Международного симпозиума**

**“ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ  
УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ”**

**Екатеринбург, Россия**

**30 июля – 2 августа 2001 года**



**“EngGeolCity-2001”**

**I**



**Спонсор издания: Научно-производственный центр «КАРСТ»**

Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий / Материалы Международного симпозиума. – Екатеринбург: Издательство «АКВА-ПРЕСС», 2001 г. – 2 тома. – 792 стр.

ISBN 5-94544-002-7

Материалы Международного симпозиума «Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий» включают труды ученых и специалистов из России и стран СНГ, освещают вопросы по семи темам симпозиума. Издан компакт-диск с материалами симпозиума на английском языке, включающий также труды ученых и специалистов зарубежных стран. Публикация материалов осуществлена в редакции авторов.

Редакционная коллегия: В.И. Осипов (главный редактор), Н.А. Румянцева (зам. главного редактора), В.В. Баулин, В.И. Бондарев, О.Н. Грязнов, В.Г. Зотеев, С.Е. Лукина, Б.Н. Мельников, В.В. Лушников, И.А. Парабучев, А.Л. Рагозин, Л.И. Рыбникова, В.М. Слукин, И.С. Шахов

#### ТОМ I

- Тема 1. Инженерная геология и рациональное использование урбанизированных территорий
- Тема 2. Инженерно-геологические и инженерно-геоэкологические изыскания на урбанизированных территориях
- Тема 3. Природные опасности и устойчивость городских территорий

#### ТОМ II

- Тема 4. Техногенные изменения геологической среды урбанизированных территорий
- Тема 5. Использование подземного пространства города
- Тема 6. Методы защиты памятников истории, архитектуры и культуры
- Тема 7. Геоинформационные системы (ГИС) геологической среды урбанизированных территорий

ISBN 5-94544-002-7

© ЗАО «УралТИСИЗ», 2001

# ЭВОЛЮЦИЯ СУЛЬФАТНЫХ ПОРОД И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

*Нещеткин О.Б., Сафронова А.А., Вострикова Н.В.*

*НПЦ «КАРСТ», г. Дзержинск Нижегородской области, Россия*

Массивы сульфатных пород в континентальных условиях, включающих несколько эпох развития карста, подвергаются глубокому преобразованию. Это вызывает значительное изменение первичных структурно-текстурных признаков сульфатных пород, приобретение ими специфических характеристик, которые отражают многообразие геологических условий преобразования породы, степень ее закарстованности и современную активность карстового процесса. Интенсивность развития карста определяется степенью неоднородности первичной сульфатной породы.

Классификация сульфатных пород основана на литологических и структурно-текстурных характеристиках. Использование классификации при исследованиях сульфатных пород повышает информативность их макроскопического описания, помогает выявить степень преобразования породы, оценить ее способность к карстованию в современных условиях.

## **Введение**

Эволюция сульфатных пород – геологический процесс преобразования пород с момента образования осадка. Важнейшими характеристиками являются литологический состав, структурные и текстурные особенности породы. Именно эти характеристики положены в основу классификации гипсов и ангидритов – наиболее распространенных сульфатных пород пермского возраста, исследованных авторами в Дзержинском, Артемовском и Кунгурском районах сульфатного карста.

## **Особенности формирования сульфатных пород**

Сульфатные породы представляют собой агрегаты, состоящие из минералов ангидрита, гипса и бассанита с примесями. Бассанит, метастабильный минерал, представлен в зонах гидратации сульфатных массивов (Фрей, 1985). Основными примесями являются доломит, глина и каменная соль, сульфатная составляющая в породе преобладает над каждой из примесей. Большинство сульфатных пород имеет лагунно-морское происхождение.

Идеальная последовательность выпадения солей из морской воды: гипс, затем ангидрит и каменная соль. Порядок осаждения солей нарушается под влиянием различных факторов. Неоднократные изменения химического состава, концентрации солеродных бассейнов и климатических условий способствовали образованию в толщах сульфатных осадков слоев и линз доломитов. В солеродные бассейны, как правило, происходил снос терригенного материала с окружающей их суши.

Согласно кривой термодинамического перехода между гипсом и ангидритом (Фрат, 1985), гипс кристаллизуется из чистого водного раствора при температуре менее 40 °С. Ангидрит является стабильной твердой фазой при температуре более 40 °С. При повышенном содержании в смешанном растворе хлоридов до 18–21,5% первично осажденным является ангидрит (Копнин, 1996). Швецов (1948) полагает, что большая часть сульфатных пород кристаллизуется первоначально в виде ангидрита.

Большое количество образцов ангидрита, изученных авторами, позволяют предположить, что первично осажденным в лагунно-морских условиях является ангидрит. Кристаллизация ангидрита происходит в виде своеобразных желваковидных или сферолитовидных агрегатов, состоящих из пластинчатых кристаллов и их радиальных стяжений. В межагрегатном пространстве кристаллизуются зернистые ангидрит (гипс), доломит, соль. Здесь сосредотачиваются и глинистые примеси.

### **Особенности преобразования сульфатных пород**

На обширных территориях развития сульфатного карста массивы пермских сульфатных пород, слагая дочетвертичную поверхность, подвергались длительному преобразованию в континентальных условиях, включая несколько эпох развития карста. Помимо выветривания и растворения, сульфатные породы претерпевают существенные изменения в результате гидратации ангидрита и перекристаллизации.

Гидратация – сложный и мало изученный процесс преобразования ангидрита. Выделяются два основных типа гидратации, название и механизм которых даны с некоторой долей условности.

Диффузионный тип гидратации связан с последовательным диффузионным проникновением воды в монолитные ангидриты. Ангидриты характеризуются в основном беспорядочным расположением составляющих компонентов и разномасштабной структурой. Первичные текстуры ангидритов (в основном массивная, пятнистая) имеют неявно выраженные границы минеральных обособлений (рисунок, поз. 1, 2, 3), за исключением порфирированной (включения кристаллов каменной соли, доломита).

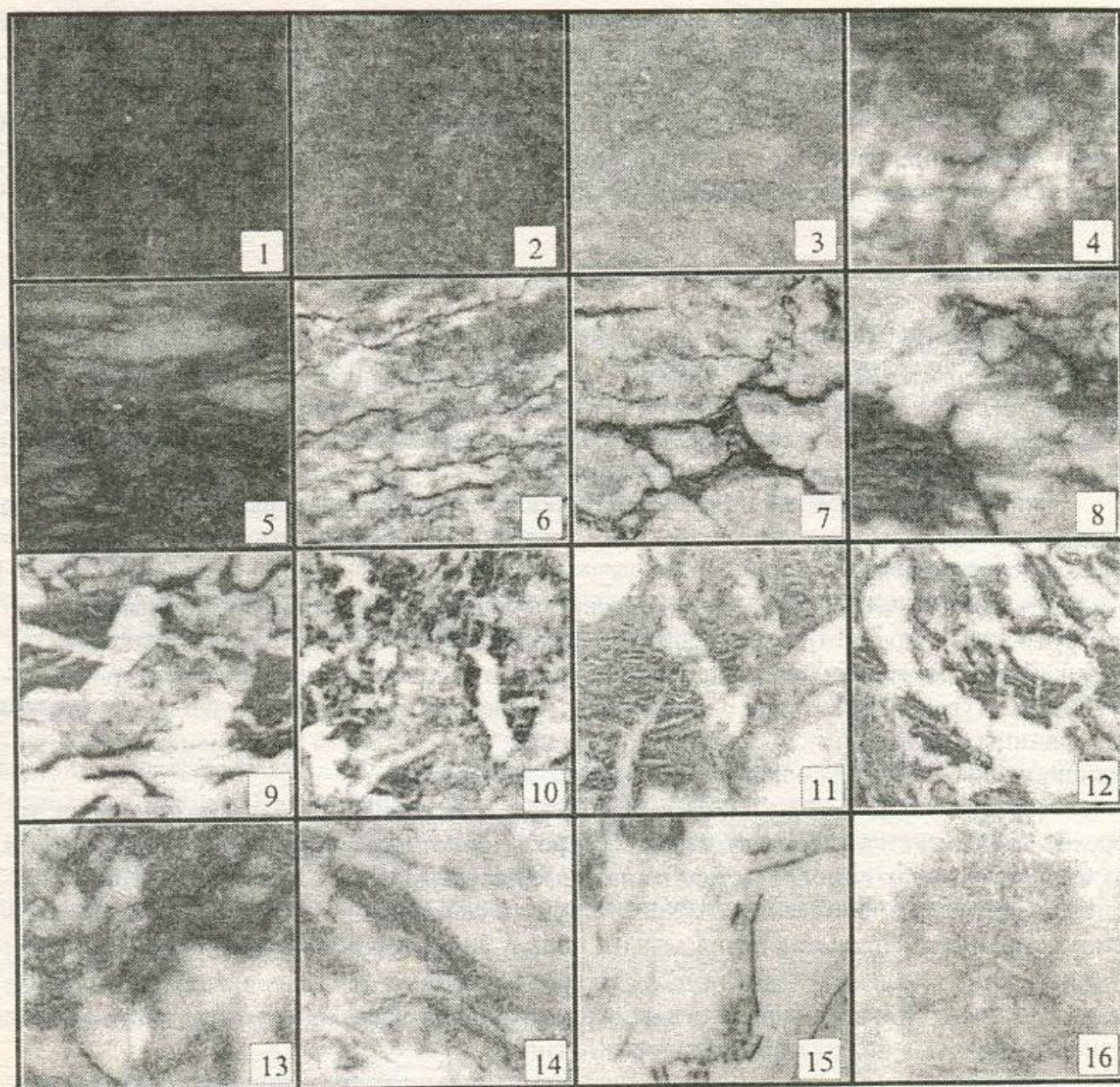
Первоначально образуется порода, состоящая из ангидрита, бассанита и гипса, которая характеризуется специфической текстурой гидратации (рисунок, поз. 4, 5). Порода как бы просвечивает, приобретает оригинальные цветовые оттенки, обусловленные составом и количеством примесей, содержит реликты осветленных чистых ангидритов. Возможно, в процессе проникновения воды в породу немалую роль играет каменная соль, рассеянно присутствующая практически во всех изученных образцах ангидрита. Первично чистые ангидриты превращаются в однотонные светло-серые просвечивающие гипсы с редкими крупными розетками пластинчатого гипса.

Контактный тип гидратации развивается по трещиноватым породам, проникновение воды в массив сопровождается растворением стенок трещин и преобразованием ангидрита в гипс. Формируется прожилковая текстура со светлыми и темными пятнами, соответствующими реликтам гипсо-ангидрита и ангидрита, и темными, частично заполненными глинистым материалом прожилками с каймой из белого гипса (рисунок, поз. 6).

Принято считать, что при гидратации ангидрита порода значительно увеличивается в объеме. И хотя каких-либо отчетливых деформационных текстур нашими исследованиями не выявлено, можно допустить, что формирование прожилковой текстуры и контактный тип гидратации являются конечной фазой гидратации диффузионного типа, а образование трещин связано с разгрузкой напряжений в сульфатном массиве.

Этот момент можно считать началом карстового процесса в сульфатном массиве. Растворение и гидратация продолжаются, возникают переходные литологические разности: гипсо-ангидриты и ангидрито-гипсы, на пересечении трещин развиваются полости, при заполнении которых формируются прожилково-гнездовые и гнездовые текстуры (рисунок, поз. 7 и 8).

Если растворение приводит к деформациям в массиве, то формируются брекчиевидные текстуры. В трещинах и гнездах, заполненных карбонатно-глинистым материалом, происходит вторичная кристаллизация гипса (селенита) и даже каменной соли (рисунок, поз. 9 и 10).



**Рисунок.** Примеры текстур сульфатных пород

1 – ангидрит массивный; 2 – ангидрит полосчатый, прожилковый; 3 – ангидрит пятнистый, прожилковый; 4 – ангидрит пятнистый, прожилковый с текстурой гидратации; 5 – ангидрит массивный с текстурой гидратации; 6 – гипсо-ангидрит прожилковый; 7 – гипсо-ангидрит гнездово-прожилковый; 8 – гипсо-ангидрит гнездовый; 9 – гипсо-ангидрит брекчиевидный; 10 – гипс брекчиевидный; 11, 12 – брекчия; 13 – гипс пятнистый; 14 – гипс полосчатый; 15 – гипс однородный с зонами пятнистого, прожилкового; 16 – гипс массивный.

Контактной гидратации ангидритов сопутствует и их перекристаллизация. Появляются средне- и крупнозернистые структуры гипсов. Часто эти структуры неоднородные, расположение разнозернистых агрегатов наследует первичную неоднородность ангидритов.

Чем интенсивней происходит перекристаллизация, тем менее выраженными становятся текстурные признаки породы (рисунок, поз. 11 и 12). В конечной фазе перекристаллизации текстуры сульфатных пород приобретают пятнистый, полосчатый вид, вплоть до однородных (рисунок, поз. 13–16).

Таблица 1. Классификация сульфатных пород по литологическому составу (фрагмент)

Соотношение ангидрит/гипс, % Содержание примесей, % Наименование породы	Преобладающий характер распределения примесей и их соотношение, %
1	2
<p><b>Ангидрит – 100%</b> <i>1. Порода – ангидрит.</i> 1.1. Ангидрит чистый</p>	
<b>Однокомпонентный состав примеси</b>	
<p>1.2. <i>Ангидрит с примесью до 5%</i> 1.2.1. Ангидрит с примесью доломита 1.2.2. Ангидрит с примесью глины 1.2.3. Ангидрит с примесью соли 1.3. <i>Ангидрит с примесью от 5 до 25%</i> 1.3.1. Ангидрит доломитистый 1.3.2. Ангидрит глинистый 1.3.2. Ангидрит засоленный 1.4. <i>Ангидрит с примесью от 25 до 50%</i> 1.4.1. Ангидрит доломитовый 1.4.2. Ангидрит глиновыи 1.4.3. Ангидрит соляной</p>	<p>Рассеянное (несосредоточенное), редкие прожилки, мелкие включения</p> <p>Рассеянное (несосред.), незакономерно и закономерно распределенные прожилки, гнезда, кристаллы</p> <p>Рассеянное (несосредоточенное), закономерно распределенные прожилки, гнезда, кристаллы</p>
<b>Двухкомпонентный состав примесей</b>	
<p>1.5. <i>Ангидрит с примесью до 10%</i> 1.5.1. Ангидрит с примесью доломита и глины 1.5.2. Ангидрит с примесью доломита и соли 1.5.3. Ангидрит с примесью глины и соли 1.6. <i>Ангидрит с примесью от 10 до 30%</i> 1.6.1. Ангидрит доломитистый с прим. глины 1.6.2. Ангидрит доломитистый с прим. соли 1.6.3. Ангидрит глинистый с прим. доломита 1.6.4. Ангидрит глинистый с примесью соли 1.6.5. Ангидрит засоленный с прим. доломита 1.6.6. Ангидрит засоленный с примесью глины 1.7. <i>Ангидрит с примесью от 10 до 50%</i> 1.7.1. Ангидрит доломитистый, глинистый 1.7.2. Ангидрит доломитистый, засоленный 1.7.3. Ангидрит глинистый, засоленный 1.8. <i>Ангидрит с примесью от 30 до 50%</i> 1.8.1. Ангидрит доломитовый, с прим. глины 1.8.2. Ангидрит доломитовый с прим. соли 1.8.3. Ангидрит глиновыи с прим. доломита 1.8.4. Ангидрит глиновыи с примесью соли 1.8.5. Ангидрит соляной с примесью доломита 1.8.6. Ангидрит соляной с примесью глины</p>	<p>Аналогично однокомпонентному составу, каждого компонента не более 5%</p> <p>Аналогично однокомпонентному составу, одного компонента не менее 5%, но не более 25%, другого – не более 5%</p> <p>Аналогично однокомп. составу, каждого компонента не менее 5%, но не более 25%</p> <p>Аналогично однокомпонентному составу, одного компонента не менее 25%, но не более 45%, другого – не более 5%</p>

Продолжение табл. 1.

1	2
<p>1.9. Ангидрит с примесью от 30 до 60%</p> <p>1.9.1. Ангидрит доломитовый, глинистый</p> <p>1.9.2. Ангидрит доломитовый, засоленный</p> <p>1.9.3. Ангидрит глиновыи, доломитистый</p> <p>1.9.4. Ангидрит глиновыи, засоленный</p> <p>1.9.5. Ангидрит соляной, доломитистый</p> <p>1.9.6. Ангидрит соляной, глинистый</p>	<p>Аналогично однокомпонентному составу, одного компонента не менее 25%, но не более 35%, другого – не менее 5%, но не более 25%</p>
Трехкомпонентный состав примесей	
<p>1.10. Ангидрит с примесями до 15%</p> <p>1.10.1. Ангидрит с прим. доломита, глины, соли</p> <p>1.11. Ангидрит с примесями от 15 до 35%</p> <p>1.11.1. Ангидрит доломитистый с примесью глины и соли</p>	<p>Аналогично однокомпонентному составу, каждого компонента не более 5%</p> <p>Аналогично однокомпонентному составу, одного компонента не менее 5%, но не более 25%, остальных – не более 5%</p>
<p>Алгоритм определения более сложного состава аналогичен породам с двухкомпонентным составом примесей.</p> <p><b>Ангидрит – более 50%, гипс – менее – 50%</b></p> <p>2. Порода – гипсо-ангидрит</p> <p>Алгоритм определения состава с примесями аналогичен ангидриту</p> <p><b>Гипс – более 50%, ангидрит – менее 50%</b></p> <p>3. Порода – ангидрито-гипс</p> <p>Алгоритм определения состава с примесями аналогичен ангидриту</p> <p><b>Гипс – 100%</b></p> <p>4. Порода – гипс</p> <p>Алгоритм определения состава с примесями аналогичен ангидриту</p> <p>5. Порода – ангидрито-доломит, доломито-ангидрит, гипсо-доломит, доломито-гипс</p> <p>6. Брекчиевидная сульфатная порода</p> <p>7. Порода – брекчия</p>	

Примечание:

1. Классификация разработана для макроскопического описания.
2. Наличие и количество других примесей указывается в процессе описания породы.
3. Классификация учитывает общее количество той или иной примеси, выделение первичных и вторичных примесей осуществляется в процессе описания породы.
4. Более точное соотношение ангидрита и гипса указывается при описании породы.
5. Шаг определения процентного содержания породы и примеси – 5%.
6. Породы – ангидрито-доломит, доломито-ангидрит, гипсо-доломит, доломито-гипс – приурочены к зонам перехода сульфатных и карбонатных пород и содержат примерно равное их количество.

Таблица 2. Классификация структур сульфатных пород (фрагмент)

Структура	Размеры зерен, прочие характеристики
<b>1. Однороднозернистая</b>	
<i>1.1. Зернистая</i>	
1.1.1. Крупнозернистая	Размер зерен более 1,0 мм
1.1.1.1. Сахаровидная	Белоснежные искрящиеся зерна
1.1.2. Среднезернистая	Размер зерен от 0,1 до 1,0 мм
1.1.2.1. Сахаровидная	Белоснежные искрящиеся зерна
1.1.3. Мелкозернистая	Размер зерен менее 0,1 мм
1.1.3.1. Льдистая	Зерно визуально не определяется, просвечивает в сколах
1.1.3.2. Фарфоровидная	Молочно-белая порода, визуально зернистость практически не определяется. Не просвечивает в сколах
<i>1.2. Пластинчатая</i>	
1.2.1. Крупнопластинчатая (и гигантопластинчатая)	Размеры пластинчатых агрегатов определяются аналогично зернистым
1.2.1.1. Желваковая или сферолитовидная	Округлые обособления неправильной формы
1.2.1.2. Розеточная или радиально-лучистая	Округлые обособления правильной формы
1.2.1.3. Среднепластинчатая	Разнообразные выделения селенита
1.3. Шестоватая	Разнообразные сочетания зернистых и пластинчатых видов
<b>2. Неоднороднозернистая</b>	

Таблица 3. Классификация текстур сульфатных пород (фрагмент)

Текстура	Основные разновидности
1. Однородная (массивная)	
2. Неявно выраженные границы минеральных обособлений	
2.1. Пятнистая	
2.2. Полосчатая	
3. Явно выраженные границы минеральных обособлений	
3.1. Прожилковая	Простая одиночная. Простая ветвящаяся, по напластованию, секущая ориентированная, хаотичная
3.2. Гнездовая	Сложная сетчатая, мозаичная, дуговая
3.3. Слоистая	Первичная, вторичная, пересечения простых, сложных прожилков, по составу и степени выполнения гнезд
4. Особые текстуры	
4.1. Гидратации	
4.2. Брекчиевидная	
4.3. Розеточная	
4.4. Порфиоровидная	
5. Сложные текстуры – сочетание нескольких простых	Примечание: Для некоторых пород структурные и текстурные признаки практически совпадают, поэтому в классификации текстур они не указываются.



Таким образом, степень выраженности текстур, а также интенсивность развития карста в массиве сульфатных пород определяется степенью неоднородности первичной сульфатной породы.

Однородные ангидриты, проходя стадии гидратации и перекристаллизации, преобразуются последовательно в гипсо-ангидриты, ангидрито-гипсы и гипсы. Сульфатные породы растворяются на контактах с другими породами, в основном карбонатными, по редким тектоническим трещинам и с поверхности.

В неоднородных сульфатных породах карст активно развивается не только с поверхности и по контактам с карбонатными прослоями и линзами, но и практически по всему объему за счет трещиноватости и растворения каменной соли. Именно в неоднородных породах формируются системы карстовых полостей и каналов, по которым сосредотачивается подземный сток, происходит обрушение сульфатных пород с формированием эрозионно-карстовых элементов в их кровле и образованием на земной поверхности провалов и оседаний.

Сульфатные породы, слагающие кровлю и подошву карстовых полостей разнообразной морфологии и генезиса, имеют свои специфические структурно-текстурные признаки. Длительное преобразование этих сульфатных пород приводит к формированию на поверхности массивов, в кровле и подошве карстовых полостей молочно-белых разнозернистых гипсов, часто одоломиченных и отличающихся повышенной крепостью.

### **Классификация сульфатных пород для инженерно-геологических целей**

В основу классификации сульфатных пород положена совокупность их литологических, структурных, текстурных и особых признаков.

### **Заключение**

Классификация позволяет выполнить детальное описание сульфатных пород, выявить степень преобразования породы, степень ее закарстованности, оценить способность породы к карстованию в современных условиях, оценить морфологию и опасность выявленных карстовых полостей, что позволяет давать локальный прогноз карстоопасности.

### **Литература**

1. Копнин В.И. Кальциево-сульфатные породы в пермских отложениях Пермского Приуралья. В сб.: Моделирование геологических систем и процессов: Пермь. 1996. С. 130–132.
2. Фрей К. Минералогическая энциклопедия: Л.: Недра. 1985.
3. Швецов М.С. Петрография осадочных пород. Госгеолыздат. 1948.