

УДК 553.635.1  
DOI 10.19110/1994-5655-2019-4-50-54

**К.О. ХУДЕНЬКИХ**  
**ОСОБЕННОСТИ**  
**КАРСТА СОКОЛИНО-САРКАЕВСКОГО**  
**МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

ООО «Ергач»,  
пос. Ергач Кунгурского района Пермского края

[ms002@ergach0.ru](mailto:ms002@ergach0.ru)

**К.О. KHUDENKIKH**  
**PECULIAR PROPERTIES OF KARST**  
**OF THE SOKOLINO-SARKAEVSK DEPOSIT**

LLC “Ergach”,  
Ergach settlement, Kungur region, Perm Krai

**Аннотация**

Приведены основные сведения о геологическом строении Соколино-Саркаевского месторождения гипса и ангидрита. Охарактеризованы особенности карстовых форм в разрезе, их вертикальные размеры, особенности положения развитого на месторождении поверхностного закрытого и подземного карста. Рассмотрено их практическое применение для гипсовой толщи карьера «Саркаевский».

**Ключевые слова:**

*месторождения гипса, карст, типизация, карстовая полость, потери, разубоживание*

**Abstract**

Sokolino-Sarkaevsk deposit of gypsum and anhydrite is located in the Kungur region of the Perm Krai, developed since 1928 by an open-pit mining. At the deposit, the sulphate strata overlying the first from the earth surface is mined. This strata is the epikarst zone that is most strongly subjected to karst processes that occurred in the past and are still occurring currently.

In the geological structure of the deposit, the useful strata is represented by gypsum and anhydrites of the Lunezh pack of the Kungur stage of the Lower Permian system with thickness of 40-45 m, overlain by Solikamsk terrigenous rocks (15-20 m) and eluvial clays of Quaternary age (5-7 m). From below, the useful strata is underlain by carbonate rocks of the Tyui pack of the Kungur stage.

Karst forms by their position in the section are divided into two main groups – surface and underground, and the surface type is divided into two subtypes: open and closed.

Surface open karst is developed on the earth surface, closed – in the roof of the gypsum layer. Underground karst is developed inside the useful strata of gypsum in the form of filled and unfilled voids and cracks.

Karst cavities are divided into filled, unfilled and mixed. By position in the section, there are 5 types of cavities, by vertical size – 5 types.

The proposed typology of karst has been successfully applied at mining the Sokolino-Sarkaevsk deposit of gypsum and anhydrite.

Karst typification in open-pit gypsum deposits is a comprehensive method of studying karst forms, the purpose of which is to detail the geological structure of the sulphate strata, its quality, which determines the most effective strategy for the development of this strata in the present and in the future.

**Keywords:**

*gypsum deposits, karst, typification, karst cavity, losses, impoverishment*

**Введение**

Соколино-Саркаевское месторождение гипса и ангидрита расположено в Кунгурском районе Пермского края. Разрабатывается с 1928 г. открытым способом. На месторождении отрабатывается пер-

вая залегающая от поверхности земли сульфатная толща. Она представляет собой эпикарстовую зону, в прошлом наиболее подверженную карстовым процессам, которые происходят и в настоящее время [1].

Полезная толща месторождения представлена гипсами и ангидритами лунежской пачки кунгурского яруса нижнепермской системы мощностью 40–45 м, сверху перекрытой соликамскими терригенными породами (15–20 м) и элювиальными глинами четвертичного возраста (5–7 м). Снизу полезную толщу подстилают карбонатные породы туйской пачки кунгурского яруса (рис. 1).

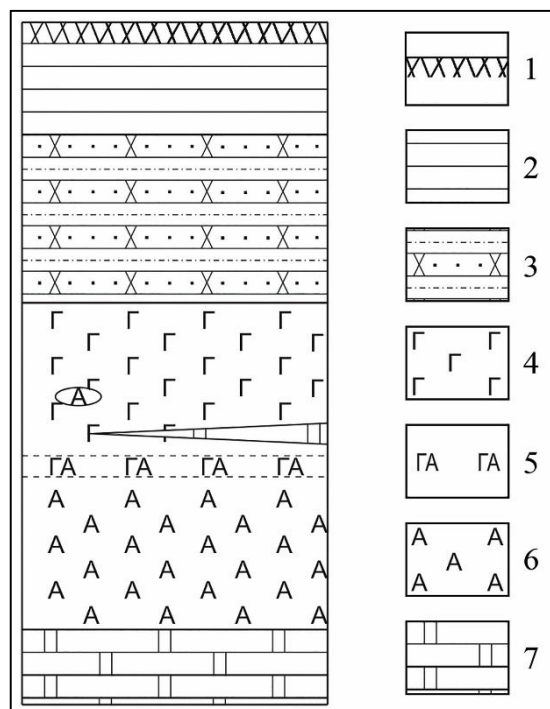


Рис.1. Схематический разрез Соколино-Саркаевского месторождения (вне масштаба):

1 – почвенно-растительный слой; 2 – глина; 3 – терригенные породы; 4 – гипс; 5 – гипсоангидрит и ангидрито-гипс; 6 – ангидрит; 7 – доломит.

Fig.1. Schematic section of Sokolino-Sarkaevsk deposit (out of scale): 1– soil and vegetation layer; 2 – clay; 3 – terrigenous rocks; 4 – gypsum; 5 – gypsum-anhydrite and anhydrite-gypsum; 6 – anhydrite; 7 – dolomite.

Верхняя часть полезной толщи представлена гипсами разного окраса, массивными, сетчатыми, разнослоистыми, разнозернистыми. В гипсе локально встречаются линзы ангидрита мощностью 1,5–2,5 м и почти повсеместно развит пласт доломита мощностью до 3 м. Средняя мощность гипсов 20 м. В центре полезная толща представляет собой гипсоангидритовую и/или ангидритогипсовую переходную зону мощностью 3–5 м. Нижняя часть полезной толщи сложена ангидритами серыми и темно-серыми с синеватым отливом, средне- и мелкозернистыми, массивными. Средняя мощность ангидритов 20 м.

Сульфатный массив Соколино-Саркаевского месторождения сильно закарстован. Карстовые формы по своему положению в разрезе подразделены

на две основные группы [2] – поверхностные и подземные, причем поверхностный тип разделен на два подтипа: открытый и закрытый. Поверхностный открытый карст имеет выход на дневную поверхность и отражается в рельефе месторождения в виде многочисленных карстовых провалов, воронок, оврагов, логов и других форм. Поверхностный закрытый карст выявлен в кровле гипсовой толщи по данным бурения и геофизических работ, а также в процессе проходки карьеров. На дневной поверхности этот тип карста не выражен. Формы подземного карста развиты внутри полезной толщи гипса в виде заполненных и незаполненных пустот и трещин, он вскрыт разведочными скважинами и в бортах карьеров [3]. Поверхностный открытый карст достаточно полно и детально охарактеризован в литературе [4–6 и др.] и поэтому в данной работе не рассматривается.

### Поверхностный закрытый карст

Для поверхностного закрытого типа карста характерны большие размеры воронок в плане и по глубине, значительно превышающие размеры и глубину воронок открытого типа. В плане крупные воронки имеют, как правило, неправильную форму, мелкие – округлую или овальную. В разрезе крупные воронки – чашеобразные, мелкие – конусообразные. Размер воронок в поперечнике может достигать 60 м, глубина от нескольких метров до 40 м.

Размеры погребенных карстовых воронок и зон свидетельствуют о достаточно свободном доступе к гипсовой толще поверхностных вод. Предположительно, в момент карстообразования сульфатная толща либо совсем была свободна от перекрывающих пород, либо перекрыта последними небольшой мощности. Такая ситуация способствовала образованию (помимо воронок) в рельефе гипсовой толщи различных мульд, седловин, котловин, рвов и логов. Мощной толщей вскрышных отложений гипсовая толща перекрывается в период денудационного выравнивания рельефа продуктами выветривания, переносимыми с более высоких участков местности [4]. Поверхностный закрытый карст оказывает наибольшее влияние на разработку месторождений гипса; он в значительной степени может усложнять добычу полезного ископаемого, а также влиять на его потери и разубоживание [7].

### Подземный тип карста

Подземный тип карста представлен карстовыми полостями трех типов – незаполненными, заполненными и смешанными. Последний тип представляет собой зону, в пределах которой вскрыты чередующиеся смежные заполненные и незаполненные полости. Незаполненные и смешанные карстовые полости представляют опасность для техники и работающего в карьере персонала. Зачастую полости, расположенные в приповерхностной части гипсовой толщи, перекрыты плитами известняка незначительной толщины. На отработку горной массы незаполненные полости влияния не оказывают, так как они ликвидируются при проведении взрывных работ.

Заполненные полости опасности не представляют, однако они сильно разубоживают гипс, поскольку селективно отработав заполненную полость в большинстве случаев не представляется возможным. Процент разубоживания в таких ситуациях напрямую зависит от размеров заполненной полости и от типа заполнителя, который может содержать в себе значительное количество обломков гипса. Это обусловит повышение качества заполнителя и, как следствие, снижение разубоживания [7].

По положению в разрезе автором выделено пять типов полостей (рис. 2):

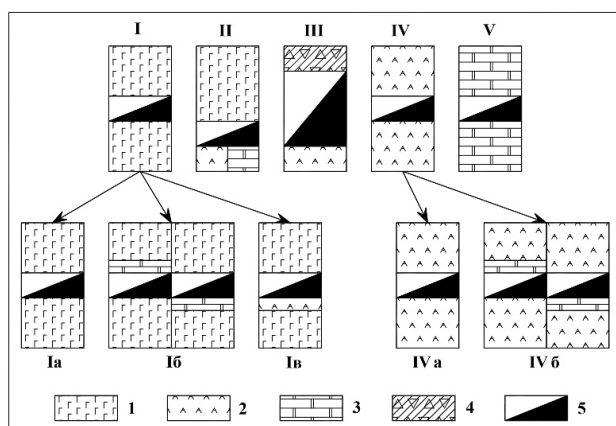


Рис. 2. Типы полостей по положению в разрезе: 1 – гипс; 2 – ангидрит; 3 – доломит; 4 – вскрышные породы; 5 – карстовые полости.  
Fig. 2. Types of cavities by position in the section: 1 – gypsum; 2 – anhydrite; 3 – dolomite; 4 – stripping rocks; 5 – karst cavities.

**Тип I.** Полости залегают непосредственно в гипсовой толще. Этот тип подразделяется на три подтипа:

- подтип Ia – полость вскрыта в гипсовой толще;
- подтип Ib – полость вскрыта в гипсовой толще на контакте с доломитовым прослоем, который может находиться как в кровле, так и подошве полости;
- подтип Iv – полость вскрыта в гипсовой толще на контакте с ангидритовым прослоем, который, как правило, находится в подошве полости.

**Тип II.** Полости залегают в подошве гипсовой толщи. В подошве полости могут быть ангидрит или доломит.

**Тип III.** К этому типу отнесены полости, развитые по всей мощности гипсовой толщи.

**Тип IV.** Полости залегают в толще ангидрита. Этот тип подразделен на два подтипа:

- подтип IVa – полость вскрыта в ангидритовой толще;
- подтип IVб – полость вскрыта в ангидритовой толще на контакте с доломитовым прослоем, который может находиться как в кровле, так и в подошве полости.

**Тип V.** Полости, образовавшиеся в карбонатных породах (в известняках и доломитах).

Типы полостей по положению в разрезе характеризуют интенсивность карстового процесса, его приуроченность к определенным геологическим условиям, загрязнение гипсового массива (при заполненных и смешанных полостях). Например, если заполненная или смешанная полость относится к III типу, то разубоживания гипса можно избежать, отработав такую полость сверху вместе с перекрывающими вскрышными породами. В случае, когда полости относятся к I, II и IV типам, разубоживание будет максимальным, так как эти полости трудно поддаются селективной выемке.

По вертикальному размеру карстовые полости можно разделить на пять типов: очень малые (до 1 м); малые (1–3 м); средние (3–5 м); крупные (5–10 м); очень крупные (более 10 м).

Вертикальный размер полостей характеризует в первую очередь продолжительность и интенсивность карстовых процессов. Если полости заполненные или смешанного типа, то вертикальный размер таких полостей показывает степень загрязнения гипсовой толщи.

### Практическое применение

На Соколино-Саркаевском месторождении поверхностный закрытый карст обнаруживается при сопровождающей эксплуатационной разведке, в результате которой строятся гипсометрические планы кровли гипсовой толщи. На построенных планах вычленяются погребенные карстовые воронки и вычисляются их объемы. Таким образом, было подсчитано, что объемный коэффициент поверхностной закарстованности толщи гипса составляет 22%.

Коэффициент закарстованности характеризует также и разубоживание, так как заполнителем погребенных древних воронок в большинстве случаев являются карбонатно-терригенные породы, перемешанные с четвертичными. То есть объем заполнителя является объемом разубоживания гипса, поэтому объемный коэффициент поверхностной закарстованности гипсовой толщи будет равен проценту ее разубоживания и составляет 22%.

В границах карьера в разные годы пройдено 568 скважин. Из 154 скважин вскрыто 195 полостей (73 незаполненных – 37%, 109 заполненных – 56% и 13 смешанных – 7%). Распределение полостей по положению в разрезе выглядит следующим образом (рис. 3).

Большинство полостей вскрыто внутри гипсовой толщи – 160 шт. (82%, I тип), из них 128 полостей непосредственно в гипсе (66%, подтип Ia), 25 – на контакте с прослоями доломита (13%, подтип Ib) и 7 – на контакте с прослоями ангидрита (4%, подтип Iv). В подошве гипсовой толщи залегают (II тип) 20 полостей (10%). На всю мощность гипсовой толщи (III тип) вскрыто две полости (1%), в ангидрите шесть полостей (3%, IV тип), из которых четыре залегают непосредственно в ангидрите (2%, подтип IVa), два – на контакте ангидрита с доломитом (1%, подтип IVб). В карбонатных породах вскрыто семь полостей (4%, V тип). Обращает на себя внима-

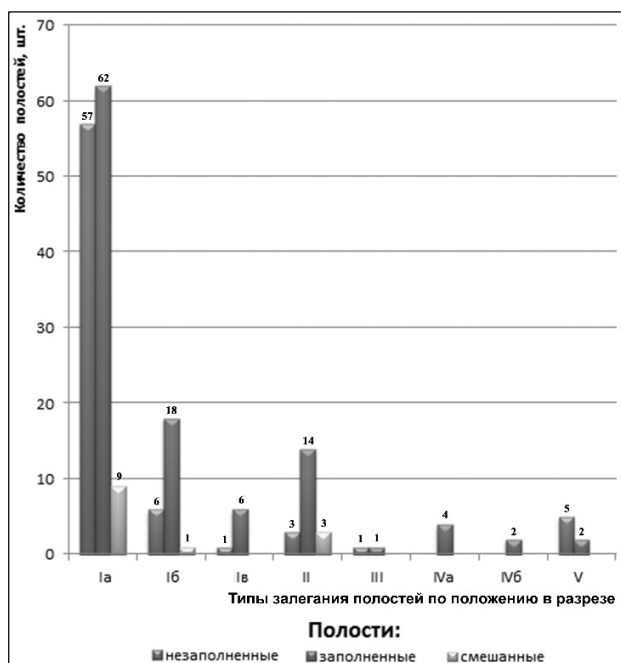


Рис. 3. Распределение полостей по положению в разрезе.

Fig.3. Distribution of cavities by position in the section.

ние тот факт, что в ангидритовой толще вскрылись только заполненные полости, видимо, процесс их образования происходил в более ранний период, нежели в толще гипса. Смешанные полости отсутствуют в подтипе Iv и в типах III, IV, V.

Распределение карстовых полостей по вертикальному размеру представлено в таблице.

**Распределение карстовых полостей по вертикальному размеру**  
*Distribution of karst cavities by vertical size*

Тип полости по мощности	Незаполненные, шт.	Заполненные, шт.	Смешанные, шт.	Всего, шт.
Очень малые	38 (16%)	36 (15%)	0	74 (31%)
Малые	35 (15%)	47 (20%)	5 (2%)	87 (37%)
Средние	8 (3%)	27 (11%)	2 (1%)	37 (16%)
Крупные	9 (4%)	10 (4%)	7 (3%)	26 (11%)
Очень крупные	0	4 (2%)	7 (3%)	11 (5%)

Как уже было сказано, разубоживание толщи гипса определяют заполненные и смешанные карстовые полости. Количественно это можно выразить через объемный коэффициент внутренней закарстованности. Для карьера «Саркаевский» Соколино-Саркаевского месторождения гипса и ангидрита этот коэффициент составляет 7%. Он же будет характеризовать разубоживание, которое также составит 7%. Таким образом, общая закарстованность гипсовой толщи карьера «Саркаевский» равна 29%, соответственно и разубоживание толщи гипса тоже 29% (22%+7%).

**Заклучение**

Карстовые процессы сильно осложняют эксплуатацию месторождений гипса, разрабатываемых открытым способом. В сульфатных породах карствование протекает гораздо быстрее, чем в карбонатных. Это обуславливает многочисленность и разнообразие карстовых форм как в кровле гипсовой толщии, так и внутри нее.

На месторождениях гипса изучение и типизацию карста необходимо начинать уже на этапе геологоразведочных работ. Особое внимание при этом следует уделять подземным карстопроявлениям. Важно правильно интерпретировать получаемую в ходе разведки геологическую информацию. Обвальнo-карстовый материал, заполняющий погребенные воронки в кровле гипса и внутренние полости, зачастую имеет сходный состав. Очень часто погребенные воронки в кровле гипсовой толщии интерпретируются как заполненные карстовые полости, следствием чего являются ошибки при построении кровли гипса на геологических опорных разрезах, что в свою очередь может привести к ошибкам при подсчете запасов.

Вторым аспектом своевременного обнаружения и типизации подземных заполненных карстовых форм является то, что они в большинстве случаев являются источниками загрязнения гипса. Заполнитель подземных карстовых форм, как правило, представлен щебнем и дресвой карбонатно-терригенных пород, перемешанных с четвертичными глинами и суглинками, которые в значительной степени снижают качество гипса. Поэтому от правильной интерпретации геологических данных зависит и качественная характеристика толщии полезного ископаемого (гипса). Следствием этого может стать неправильная геолого-экономическая оценка разведываемого месторождения.

При эксплуатации месторождений гипса, разрабатываемых открытым способом, типизация карста необходима для понимания детального геологического строения гипсового массива. Во-первых, своевременное выявление незаполненных карстовых полостей существенно снижает риск травматизма людей и порчи техники. Иными словами, локализация таких форм значительно повышает общую безопасность эксплуатации месторождений гипса. Во-вторых, подробные гипсометрические планы кровли гипса и прилагаемые к ним детальные геологические разрезы с нанесенными выявленными карстопроявлениями позволяют планировать добычные работы с максимальной их эффективностью, поскольку объемные коэффициенты закарстованности, рассчитываемые для заполненных карстовых форм, характеризуют также и степень разубоживания гипса.

Типизация карста позволяет в первую очередь определить стратегию отработки любого участка месторождения гипса, при которой достигаются минимальные потери и разубоживание полезного

ископаемого. Помимо этого, типизация карста повышает качество прогнозирования геологического строения площадей, подлежащих дальнейшей разработке, а также степень загрязнения гипса в пределах этих площадей. Таким образом, типизация карста на месторождениях гипса, разрабатываемых открытым способом, – это комплексный метод изучения карстовых форм, целью которого является детализация геологического строения сульфатной толщи и ее качества. Все это определяет наиболее эффективную стратегию разработки данной толщи.

#### Литература

1. Худеньких К.О., Катаев В.Н. Карстовый морфогенез в приповерхностной зоне сульфатно-карбонатного массива Соколино-Саркаевского месторождения гипса и ангидрита // Вестник Пермского университета. Геология. 2018. Т. 17. №2. С. 171–176.
2. Кудряшов А.И., Фомин В.И., Колесников В.П. Чаньвинское месторождение известняков. Пермь, 1999. 81 с.
3. Худеньких К.О. Характеристика месторождений гипса Пермского края // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий: Сборник статей / 12-я Межрегиональная научно-практическая конференция (Уфа, 21–23 мая 2018 г.). СПб.: Свое издательство, 2018. С. 363–365.
4. Горбунова К.А. Морфология и гидрогеология гипсового карста: учеб. пособие по спецкурсу / Пермский ун-т. Пермь, 1979. 95 с.
5. Максимович Г.А. Основы карстоведения. Т.1. Пермь: Пермское книжное издательство, 1963. 444 с.
6. Дублянский В.Н., Дублянская Г.Н. Карстование. Ч.1. Общее карстование: Учеб. пособие / Перм. ун-т. Пермь, 2004. 308 с.
7. Худеньких К.О. Влияние карстовых процессов на эксплуатацию месторождений гипса // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н.Чирвинского: Сб. ст. / Отв. ред. И.И. Чайковский; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. Вып. 22. С. 273–276.

#### References

1. Khudenkikh K.O., Kataev V.N. Karstovyy morfogenez v pripoverkhnostnoy zone sul'fatno-karbonatnogo massiva Sokolino-Sarkaevskogo mestorozhdeniya gipsa i angidrita [Karst morphogenesis in the near-surface zone of the sulphate-carbonate massif of the Sokolino-Sarkaevsk deposit of gypsum and anhydrite] // Bull. of Perm Univ. Geology. 2018. Vol. 17. №2. P. 171–176.
2. Kudryashov A.I., Fomin V.I., Kolesnikov V.P. Chan'vinskoe mestorozhdenie izvestnjakov [Chan'vinsk deposit of limestones]. Perm, 1999. 81 p.
3. Khudenkikh K.O. Kharakteristika mestorozhdeniy gipsa Permskogo kraya [Gypsum deposits characteristics of Perm region] // Geology, minerals and problems of geoecology of Bashkortostan, Ural and adjacent territories: collected papers / 12<sup>th</sup> Interregional Sci.-Pract. Conf. (Ufa, May 21-23, 2018). St.Petersburg: Svoyo Izdatel'stvo, 2018. P. 363–365.
4. Gorbunova K.A. Morfologiya i gidrogeologiya gipsovogo karsta: Uchebnoe posobie po spetskursu [Morphology and hydrogeology of gypsum karst: Textbook for special course] / Perm Univ. Perm, 1979. 95 p.
5. Maksimovich G.A. Osnovy karstovedeniya [Bases of karstology]. Vol. 1. Perm: Perm Book Publ., 1963. 444 p.
6. Dublyansky V.N., Dublyanskaya G.N. Karstovedenie. Chast 1. Obschee karstovedenie: uchebnoe posobie [Karstology. Part 1. General karstology: Textbook] / Perm Univ. Perm, 2004. 308 p.
7. Khudenkikh K.O. Vliyanie karstovykh protsessov na ekspluatatsiyu mestorozhdeniy gipsa [Influence of karst processes on the exploitation of gypsum deposits] // Problems of mineralogy, petrography and metallogeny. Sci. readings in memory of P.N.Chirvinsky: collected papers / Ed. I.I.Chaikovsky; Perm Univ. Perm, 2019. Issue 22. P. 273–276.

Статья поступила в редакцию 17.04.2019.