

# ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ТВЁРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ

УДК 551.2.01

## Оценка закарстованности месторождений строительного гипса

К.О. Худеньких

ООО «Ергач», 617437, Пермский край, Кунгурский район, п. Ергач, ул. Заводская, 10. E-mail: ms002@ergach0.ru

(Статья поступила в редакцию 20 марта 2018 г.)

Рассмотрены различные методики расчета закарстованности полезной толщи месторождений гипса. Предложен собственный комплексный метод расчета закарстованности, основанный на определении объемных коэффициентов закарстованности поверхности гипсовой толщи и ее внутренней закарстованности. Представлены результаты опробования предложенного метода на Соколино-Саркаевском месторождении гипса и ангидрита. Установлено, что процент поверхностной и внутренней закарстованности заполненных полостей характеризует разубоживание полезной толщи.

Ключевые слова: *месторождения гипса, коэффициент закарстованности, объем, карстовая полость, разубоживание.*

DOI: 10.17072/psu.geol.18.1.49

В настоящее время при инженерно-геологических изысканиях на территориях, подверженных карстовым процессам, специалисты используют расчетные показатели, предложенные в основных нормативных документах (Методические рекомендации..., 2009, СП 11-105-97, 2009, ТСН 11-301-2004, 2005 и др.). Наиболее часто применяют следующие: интенсивность провалообразования (случаи/км<sup>2</sup>год), средний диаметр карстовых провалов (м), плотность карстовых форм (шт./км<sup>2</sup>), площадной показатель закарстованности (%), объемный показатель закарстованности (мм). Но не все из перечисленных показателей можно применить для оценки закарстованности полезной толщи месторождений гипса.

В литературе оценить закарстованность полезной толщи предлагается двумя способами. В первом случае закарстованность полезной толщи ( $Z_{пт}$ ) вычисляется по формуле

$$Z_{пт} = \frac{V + V_n}{V_{общ}}, \quad (1)$$

где  $V$  – объем воронок (м<sup>3</sup>),  $V_n$  – объем потерь на контакте с карстовыми образованиями (м<sup>3</sup>),  $V_{общ}$  – объем полезной толщи (м<sup>3</sup>) (Чуракова, Гарифулова, 2015).

В своей работе Е.А. Чуракова и А.В. Гарифулова не уточняют, о каких воронках идет речь, но исходя из контекста статьи можно сделать вывод, что имеются в виду воронки, развитые на дневной поверхности, объем которых ( $V$ ) предлагается вычислять по формуле

$$V = \frac{\pi h}{3} \cdot (R_n^2 + R_n R_v + R_v^2), \quad (2)$$

где  $h$  – глубина воронки (м),  $R_v$  – радиус ее верхнего основания (м),  $R_n$  – радиус ее нижнего основания (м). Объем потерь на контакте с карстовыми образованиями вычисляется по следующей формуле:

$$V_{п} = L \cdot S_{тр} \cdot n, \quad (3)$$

где  $L$  – средняя длина окружности воронки (м),  $S_{тр}$  – площадь элементарной трапеции (м<sup>2</sup>),  $n$  – количество уступов (Чуракова, Гарифулова, 2015).

Проанализировав формулы 1-3, необходимо отметить следующее. Во-первых, данный метод будет совершенно бесполезен для месторождений, где поверхностные карстовые формы развиты слабо, крайне неравномерно или не развиты совсем. Во-вторых, непонятно, как определить исходные данные для расчета площади элементарной трапе-

ции. В-третьих, почему потери на контакте с карстовыми формами используются для характеристики закарстованности? Вывод: данный метод не может быть применим для оценки закарстованности полезной толщи.

Второй метод оценки закарстованности полезной толщи предложила Д.А. Усольцева (Усольцева, 2013). Суть его заключается в следующем. Закарстованность предлагается оценивать через два показателя:

– коэффициент внутренней закарстованности ( $K_{вз}$ ), определяемый по формуле

$$K_{вз} = \frac{\sum h}{\sum l} \times 100\%, \quad (4)$$

где  $h$  – вертикальный размер полости (м),  $l$  – мощность горизонта, на котором вскрыты полости (м);

– коэффициент общей подземной закарстованности ( $K_{опз}$ ), вычисляемый по формуле

$$K_{опз} = \frac{\sum h + \sum(m-l)}{c \times m} \times 100\%, \quad (5)$$

где  $m$  – полная мощность карстующихся пород (м),  $c$  – количество скважин (Усольцева, 2013).

Формула (4) используется для оценки закарстованности только одного уступа, но не характеризует полезную толщу в целом. Этот коэффициент полностью зависит от мощности горизонта, для которого производится расчет. Чем меньше мощность горизонта, тем больше будет коэффициент его закарстованности. Непонятен и вопрос, как и зачем это применять на практике, поскольку такой коэффициент не используется ни при подсчете запасов, ни в расчетах потерь и разубоживания.

В формуле (5) не объяснено, какую роль играет выражение  $\sum(m-l)$  и зачем его нужно прибавлять к сумме высот всех вскрытых скважинами полостей? Если из формулы (5) убрать это выражение, то она приобретет вид

$$K_{опз} = \frac{\sum h}{c \times m} \times 100\% \quad (6)$$

и будет характеризовать закарстованность всей полезной толщи в пределах месторождения. Именно формула (6) используется для определения закарстованности при подсчетах запасов.

При последнем подсчете запасов Соколино-Саркаевского месторождения, выполненном в 2014 г., коэффициент закарстованности, рассчитанный по формуле (6), для гипса составил 5,21%, для ангидрита – 1,62%. Од-

нако это практически не отражает реальную ситуацию, которая складывается в процессе эксплуатации месторождения. Например, сравнительный анализ показал значительное расхождение данных оценки запасов и эксплуатации Шубинского месторождения гипса (Богомаз, 2016).

Поверхность гипсовой толщи имеет крайне неровную поверхность, осложненную различными погребенными карстовыми формами, которые, как правило, не выражены на дневной поверхности. Для оценки поверхностной закарстованности полезной толщи в пределах ее отработанного участка целесообразно применять формулы, используемые для оценки закарстованности на дневной поверхности, а именно объемный коэффициент поверхностной закарстованности (%):

$$K_{V_{пз}} = \frac{\sum V_{пк}}{V_{ткп}} \cdot 100\%, \quad (7)$$

где  $\sum V_{пк}$  – суммарный объем всех поверхностных карстопроявлений в пределах участка местности ( $m^3$ ),  $V_{ткп}$  – усредненный объем толщи карстующихся пород в пределах участка местности ( $m^3$ ) (Худеньких, 2011).

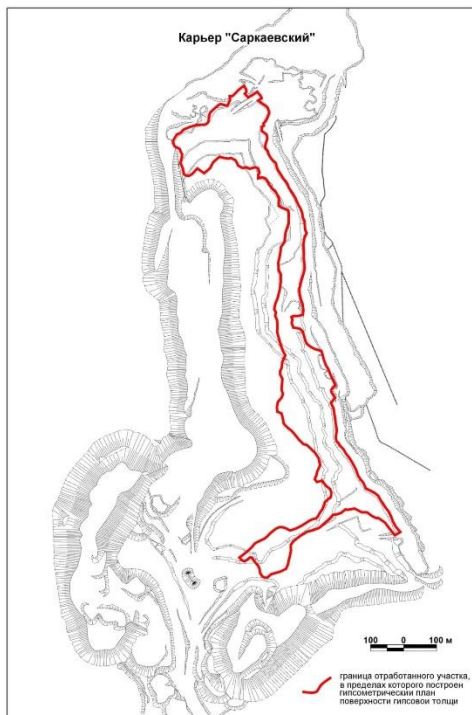
В границах карьера Саркаевский имеется отработанный участок, в пределах которого построена гипсометрическая поверхность кровли гипсовой толщи (рисунок).

Как уже отмечалось, поверхность гипсовой толщи имеет крайне сложный рельеф, изобилующий различными карстовыми формами, поэтому подсчитать суммарный объем всех карстопроявлений в пределах отработанного участка «вручную» – процесс весьма трудозатратный и долговременный.

Для определения объемного коэффициента поверхностной закарстованности гипсовой толщи использовалось лицензионное программное обеспечение компании CREDO DIALOGUE, в частности программный комплекс «CREDO Объёмы».

С помощью этой программы были рассчитаны  $\sum V_{пк}$  – суммарный объем всех поверхностных карстопроявлений в кровле полезной гипсовой толщи ( $691984 m^3$ ) и  $V_{ткп}$  – усредненный объем полезной толщи в пределах отработанного участка ( $3170774 m^3$ ), получившиеся значения подставлены в формулу (7):

$$K_{V_{пз}} = \frac{691984}{3170774} \cdot 100\% = 22\%.$$



*Отработанный участок карьера «Саркаевский», в пределах которого построен гипсометрический план поверхности гипсовой толщи*

Таким образом, объемный коэффициент поверхностной закарстованности гипсовой толщи Соколино-Саркаевского месторождения в пределах отработанного участка составил 22%. Полученный коэффициент характеризует не только поверхностную закарстованность гипсовой толщи, но и ее разубоживание. В данном случае, поскольку речь идет об объемах, разубоживание равно объемному коэффициенту поверхностной закарстованности, а значит, составляет также 22%.

Объемный коэффициент внутренней закарстованности полезной толщи может быть определен через объемный коэффициент закарстованности, вычисляемый по формуле

$$K_{V_{взпт}} = \frac{\sum V_{п}}{V_{пт}} \cdot 100\%, \quad (8)$$

где  $\sum V_{п}$  – суммарный объем выявленных полостей в гипсовой толще или на ее участке ( $m^3$ ),  $V_{пт}$  – усредненный объем полезной толщи или ее участка ( $m^3$ ) (Худеньких, 2011).

Вычислить объемный коэффициент закарстованности можно лишь при наличии информации о имеющихся пространственных

характеристиках карстовой полости (хотя бы высоты).

Существуют два основных метода вычисления объема карстовой полости, выявленной в результате бурения скважин. Первый предложен российским ученым В.П. Хоменко. Суть его в следующем. Первоначально известна высота полости. Сама полость представляется как цилиндр, диаметр которого определяется как средний диаметр провалов на исследуемой территории (Хоменко, 2009). Таким образом, объем полости вычисляется как объем цилиндра:

$$V_{ц} = \pi r^2 h. \quad (9)$$

Второй метод предложен немецкими карстововедами. Отличие его от российского варианта в том, что немецкие исследователи предлагают рассматривать полость как полушар и вычислять объем полости с помощью формулы объема полушары (Адерхольд, 2010):

$$V_{п} = \frac{4}{3} \pi r^3. \quad (10)$$

После проведения буровых работ достоверно известна только одна величина – высота полости, вскрытой скважиной. Определить диаметр полости не представляется возможным. На Соколино-Саркаевском месторождении фиксирование образования провалов началось только в 2012 г., зафиксировано всего порядка трех десятков, что не позволяет достоверно высчитать средний диаметр провалов. В формуле  $h=r$ , т.к. речь идет о полушаре, поэтому при вычислении объемов карстовых полостей эта формула имеет практическое применение.

В пределах отработанного участка карьера «Саркаевский» скважинами вскрыто 93 карстовые полости, из которых 39 незаполненные и 54 заполненные. По формуле (10) рассчитан объем каждой полости (в табл. 1 – объемы незаполненных полостей, в табл. 2 – заполненных).

Раздельный расчет объемов заполненных полостей и незаполненных объясняется следующим. Объемный коэффициент внутренней закарстованности гипсовой толщи будет характеризовать ее разубоживание, т.к. заполнитель карстовых полостей состоит в большинстве случаев из щебня и дресвы карбонатных пород с песчано-суглинистым заполнителем.

Суммарный объем незаполненных полостей составил 40361 м<sup>3</sup>, заполненных – 219432 м<sup>3</sup>, общий суммарный объем всех полостей – 259793 м<sup>3</sup>.

Усредненный объем полезной толщи, как указано выше, – 3170774 м<sup>3</sup>. Подставив получившиеся объемы в формулу (8), получим следующие значения объемного коэффициента внутренней закарстованности полезной толщи:

– для незаполненных полостей

$$K_{V_{\text{взпт}}} = \frac{40361}{3170774} \cdot 100\% = 1\%;$$

– для заполненных полостей

$$K_{V_{\text{взпт}}} = \frac{219432}{3170774} \cdot 100\% = 7\%;$$

– для всех полостей

$$K_{V_{\text{взпт}}} = \frac{259793}{3170774} \cdot 100\% = 8\%.$$

**Таблица 1.** Результаты вычисления объемов незаполненных карстовых полостей

№ скв.	Высота полости (h), м	Объем полости (V <sub>п</sub> ), м <sup>3</sup>	№ скв.	Высота полости (h), м	Объем полости (V <sub>п</sub> ), м <sup>3</sup>	№ скв.	Высота полости (h), м	Объем полости (V <sub>п</sub> ), м <sup>3</sup>	№ скв.	Высота полости (h), м	Объем полости (V <sub>п</sub> ), м <sup>3</sup>
139	1,0	4	1054	0,5	1	1071	4,0	268	1095	1,5	14
159	1,6	17	1056	4,6	408	1072	5,0	523	1102	2,0	33
174	3,2	137	1057	8,5	2571	1077	3,5	180	1107	6,9	1375
182	1,3	9	1059	8,9	2951	1079	1,5	14	1109	1,0	4
828	2,9	102	1061	4,2	310	1080	1,0	4	1110	0,5	1
1048	16,6	19151	1062	3,9	248	1082	2,0	33	1111	3,7	212
1049	7,4	1697	1063	7,5	1766	1083	1,0	4	1116	4,2	310
1050	0,5	1	1066	1,5	14	1088	3,0	113	1120	12,0	7235
1051	1,0	4	1069	4,0	268	1093	1,5	14	1128	1,1	6
1052	2,5	65	1070	1,8	24	1094	4,0	268	<b>ΣV<sub>п(незан)</sub></b>		<b>40361</b>

**Таблица 2.** Результаты вычисления объемов заполненных карстовых полостей

№ скв.	Высота полости (h), м	Объем полости (V <sub>п</sub> ), м <sup>3</sup>	№ скв.	Высота полости (h), м	Объем полости (V <sub>п</sub> ), м <sup>3</sup>	№ скв.	Высота полости (h), м	Объем полости (V <sub>п</sub> ), м <sup>3</sup>	№ скв.	Высота полости (h), м	Объем полости (V <sub>п</sub> ), м <sup>3</sup>
4	1,4	11	1047	3,1	125	1066	3,5	180	1118	3,7	212
13	1,4	11	1048	1,0	4	1080	15,5	15591	1120	4,5	382
29	2,7	82	1049	1,0	4	1082	18,4	26081	1121	1,7	21
122	15,1	14414	1050	5,0	523	1083	4,5	382	1122	1,4	11
166	3,0	113	1051	1,7	21	1085	10,5	4847	1126	21,5	41609
174	10,2	4443	1052	3,5	180	1092	3,8	230	1127	13,4	10074
178	2,6	74	1054	1,0	4	1099	7,8	1987	1128	2,4	58
179	3,2	137	1056	3,4	165	1100	5,7	775	1129	2,2	45
187	1,5	14,13	1057	11,5	6367	1102	7,3	1629	1132	23,7	55733
364	1,8	24	1059	1,5	14	1106	2,1	39	1133	5,3	623
1012	1,0	4	1060	1,5	14	1108	4,0	268	1134	2,6	74
1013	1,0	4	1061	2,5	65	1113	3,3	150	1135	2,0	33
1015	1,0	4	1062	9,6	3704	1115	18,6	26941	<b>ΣV<sub>п(зан)</sub></b>		<b>219432</b>
1021	6,0	904	1063	1,5	14	1117	1,5	14			

На заключительном этапе рассчитывается общая закарстованность полезной толщи ( $Z_{пт}$ ) по формуле

$$Z_{пт} = \frac{\sum V_{пк} + \sum V_{п}}{V_{пт}} \cdot 100\% , \quad (11)$$

которая для отработанного участка карьера «Саркаевский» составляет

$$Z_{пт} = \frac{691984 + 259793}{3170774} \cdot 100\% = 30\%.$$

Фактическая закарстованность отработанного участка карьера «Саркаевский» составляет 30%, из которых 29% – разубоживание гипсовой толщи. Эти цифры могут быть использованы в качестве прогнозных при дальнейшей эксплуатации Соколино-Саркаевского месторождения. Они свидетельствуют о сильном загрязнении гипсовой толщи.

Таким образом, данные о закарстованности, полученные при эксплуатации Соколино-Саркаевского месторождения, значительно расходятся с аналогичными данными разведки (соответственно 30% и 5,21%). Такая разница вызвана тем, что при подсчете запасов не учитывается коэффициент поверхностной закарстованности гипсовой толщи, хотя именно этот фактор является ключевым при разработке месторождений строительного гипса. Закарстованность отработанного участка карьера «Саркаевский» можно назвать равномерной, поэтому предполагается, что оставшаяся еще не вскрытая толща гипса будет иметь такую же поверхность и такое же строение (наличие карстовых полостей). При данном условии закарстованность оставшегося неотработанного участка месторождения будет стремиться к 30%, из которых большая часть будет являться разубоживанием и, значит, снижать качество полезного ископаемого. Для уточнения и корректировки геологических данных на месторождениях строительного гипса необходимо проводить опережающую эксплуатационную разведку.

### Библиографический список

*Адерхольд Г.* Классификация провалов и мульд оседаний в карстоопасных районах Гессе-

на. Рекомендации по оценке геологических рисков при проведении строительных мероприятий: монография/ под ред. Е.В. Копосова; пер. с нем. В.В. Толмачева; ННГАСУ. Н. Новгород, 2010. 109 с.

*Богомаз М.В.* Методы геометрической и статистической обработки геологических полей месторождений гипса (на примере Шубинского месторождения) // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. / ГИ УрО РАН. Пермь, 2016. Вып 14. С. 44-47.

*Методические рекомендации по проведению инженерно-геологических изысканий на карстоопасных территориях (на примере Пермского края)/ ГИ УрО РАН, ОАО «ПНИИИС». М., 2009. 154 с.*

*СП 11-105-97.* Инженерно-геологические изыскания для строительства. Ч. II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов/ ПНИИИС Госстроя России. М., 2000. 94 с.

*ТСН 11-301-2004.* Инженерно-геологические изыскания на закарстованных территориях Пермской области. Пермь, 2005. 120 с.

*Усольцева Д.А.* Подсчет закарстованности на Шубинском месторождении строительного гипса // Геология в развивающемся мире: сб. науч. тр. в 2 т. / отв. ред. Е.Н. Батурич; Перм. гос. ун-т. Пермь, 2013. Т.2. С. 41-44.

*Хоменко В.П.* Карстово-обвальные провалы «простого» типа: полевые исследования // Инженерная геология/ ОАО «ПНИИИС». М., 2009. №4. С. 40-48.

*Худеньких К.О.* К вопросу об определении некоторых показателей (коэффициентов) закарстованности // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. / ГИ УрО РАН. Пермь, 2011. Вып. 9. С. 57-59.

*Чуракова Е.А., Гарифулова А.В.* Оценка закарстованности Селищенского месторождения строительного гипса // Геология в развивающемся мире: сб. науч. тр. в 2 т. / отв. ред. П.А. Белкин; Перм. гос. ун-т. Пермь, 2015. Т.1. С. 137-140.

# Evaluation of Karst Occurrence at the Construction Gypsum Deposits

**K.O. Khudenkikh**

Yergach LLC, 10 Zavodskaya Str., Kungur district, Perm region, 617437, Russia.

E-mail: ms002@ergach0.ru

Various methods of calculation of a productive strata cavernous porosity at the gypsum fields are considered. New complex method of calculation of a cavernous porosity based on determination of the cavernous porosity volumetric coefficients of a surface features and internal cavernous porosity is offered. Results of approbation of the offered method on the Sokolino-Sarkayevskoe field of gypsum and anhydrite are presented. It is established that percentage of a superficial and internal cavernous porosity of the filled cavities characterizes the productive strata dilution.

Keywords: *gypsum fields; coefficient of cavernous porosity; volume; karst cavity; dilution.*

## References

- Aderhold A. 2010. Klassifikatsiya provalov i muld osedaniy v karstoopasnykh rayonakh Gessena. Rekomendatsii po otsenke geologicheskikh riskov pri provedenii stroitelnykh meropriyatiy [Classification of collapse features and subsidence troughs of the karst dangerous areas of Hessen. Recommendations on assessment of geological risks at the construction development]. N. Novgorod, NNGASU, p. 109. (in Russian)
- Bogomaz M.V. 2016. Metody geometricheskoy i statisticheskoy obrabotki geologicheskikh poley mestorozhdeniy gipsa (na primere Shubinskogo mestorozhdeniya) [Methods of geometrical and statistical processing of geological data of gypsum fields (example of the Shubinskoe field)]. In: Strategiya i protsessy osvoeniya georesursov. Perm, GI UrO RAN, pp. 44-47. (in Russian)
- Metodicheskie rekomendatsii po provedeniyu inzhenerno-geologicheskikh izyskaniy na karstoopasnykh territoriyakh (na primere Permskogo kraya) [Methodical recommendations on carrying out engineering-geological studies of the karst dangerous territories (on the example of Perm region)]. 2009. Moskva, GI UrO RAN, PNIIS. p. 154. (in Russian)
- SP 11-105-97. 2000. Inzhenerno-geologicheskie izyskaniya dlya stroitelstva. Chast II. Pravila proizvodstva rabot v rayonakh razvitiya opasnykh geologicheskikh i inzhenerno-geologicheskikh protsessov [Engineering-geological studies for construction. Part II. Rules of works in areas of development of dangerous geological and engineering-geological processes]. Moskva, PNIIS, p. 94. (in Russian)
- TSN 11-301-2004. 2005. Inzhenerno-geologicheskiye izyskaniya na zakarstovannykh territoriyakh Permskoy oblasti [Engineering-geological survey at karstified territories of the Perm region]. Perm, p. 120. (in Russian)
- Usoltseva D.A. 2013. Podschyot zakarstovannosti na Shubinskom mestorozhdenii stroitel'nogo gipsa [Calculation of karstification on the Shubinskoe field of gypsum plaster]. In: Geologiya v razvivayushchemsya mire. Perm, PGNIU, pp. 41-44. (in Russian)
- Khomenko V.P. 2009. Karstovo-obvalnye provaly "prostogo" tipa: polevye issledovaniya [Karst collapse failures of "simple" type: field study]. Inzhenernaya geologiya. 4:40-48. (in Russian)
- Khudenkikh K.O. 2011. K voprosu ob opredelenii nekotorykh pokazateley (koeffitsientov) zakarstovannosti [To a problem of definition of some indicators (coefficients) of karstification]. In: Strategiya i protsessy osvoeniya georesursov. Perm, GI UrO RAN. pp. 57-59. (in Russian)
- Churakova E.A., Garifulova A.V. 2015. Otsenka zakarstovannosti Selishchenskogo mestorozhdeniya stroitel'nogo gipsa [Assessment of karstification of the Selishchenskoe field of gypsum plaster]. Geologiya v razvivayushchemsya mire. Perm, PGNIU. pp. 137-140. (in Russian)