

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ, МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ И ГРУНТОВЕДЕНИЕ

УДК 550.8.053

Создание трехмерной карты закарстованности карбонатно-сульфатных пород на территории г. Кунгура

М.В. Богомаз

Горный институт УрО РАН, 614990, Пермь, ул. Сибирская, 78А

E-mail: arc@mi-perm.ru

(Статья поступила в редакцию 26 сентября 2017 г.)

Рассмотрены проблемы развития карста на урбанизированных территориях, проведен сравнительный анализ методов расчета основных показателей подземной закарстованности территории в разных типах литологического разреза, составлена трехмерная модель подземной закарстованности.

Ключевые слова: *карст, полость, литологический разрез, подземная закарстованность, трехмерная модель.*

DOI: 10.17072/psu.geol.17.3.258

Город Кунгур расположен в области распространения карбонатно-сульфатного карста. С середины 30 – конца 40-х гг. по настоящее время выполнено множество работ по оценке карстоопасности территории г. Кунгура, опубликованы отчеты и монографии (Лукин, Ежов, 1958), (Лукин, Ежов, 1975); обобщены и систематизированы результаты инженерно-геологических изысканий и составлен ряд карт (Катаев, Кадебская, 2010). На основе обобщенных материалов защищены кандидатские диссертации. С 1948 г. сотрудниками ГИ УрО РАН ведется и пополняется по настоящее время база данных по зафиксированным провалам.

В качестве основы оценки карстоопасности территории города Кунгура в настоящее время согласно нормативным документам (ТСН 11-301-2004, 2004), (СП 11-105-97, 2000) категория устойчивости территории определяется по интенсивности провалообразований и по их средним диаметрам. Такая инженерно-геологическая оценка карстоопасности не учитывает строение массива территории с полостями, выявленными на стадии бурения,

т.е. взаиморасположение объекта строительства и карстовых полостей.

Целью данной работы является сравнительный анализ методики расчета основных показателей подземной закарстованности (ТСН 11-301-2004, 2004) и данных, полученных при помощи разработанной трехмерной модели исследуемого участка развития карбонатно-сульфатных пород.

Карта подземной закарстованности была построена автором в программе AutoCAD Civil 3D фирмы Autodesk, которая позволила автоматизировать процесс построения поверхностей при помощи новейших IT-технологий и уточнить показатели, характеризующие подземные проявления карста. В процессе обработки результатов инженерно-геологического исследования района были созданы карты поверхности и подошвы геологических слоев площади исследования. На основе этих карт была разработана трехмерная модель территории.

Для составления трехмерной карты подземной закарстованности был выбран участок города, расположенный в районе

Черемушки, площадью 3,5 км². Выбор участка исследования был основан на большом объеме инженерно-геологической информации по данным бурения (102 скважины) и многолетнем ряде наблюдений за поверхностными карстовыми формами рельефа. На данной площади зафиксировано 15 провалов: 5 – суффозионных, 10 – карстовых (рис. 1).

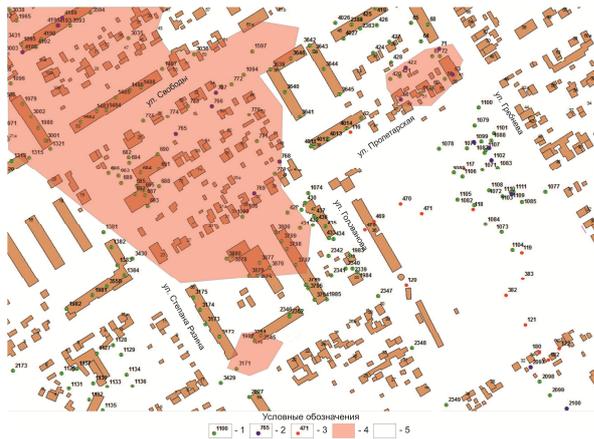


Рис. 1. Ситуационный план участка исследований: 1 – скважина; 2 – скважина, вскрывшая карстовые полости; 3 – провал; 4 – 1-й тип литологического разреза; 5 – 2-й тип литологического разреза

Участок находится на III надпойменной террасе р. Сылвы. Превышение площади над меженным уровнем реки 35-36 м. Поверхность ровная с незначительным уклоном к северо-западу, абсолютные отметки 141,5-148,1 м. На участке встречены 2 типа (Катаев, Кадебская, 2010) геологического разреза (рис.2). Они начинаются с рыхлого покрова (абсолютные отметки 119,0-129,2 м, средняя мощность 20,7 м), далее залегают коренные отложения кунгурского яруса пермской системы: породы иренского горизонта, представленные гипсами и ангидритами ледянопещерской пачки (абсолютные отметки 87,5-129,2 м, средняя мощность 30 м), а также пелитоморфными доломитами неволинской пачки (абсолютные отметки 112,5-119,0 м, средняя мощность 6,5 м). Породы иренского горизонта подстилаются доломитами филлиповского горизонта (абсолютные отметки 82,5-94,2 м, вскрытая мощность до 12 м).

18 скважин из 102 вскрыли 24 карстовые полости. Максимальный вертикальный размер полости – 6,3 м (табл. 1).

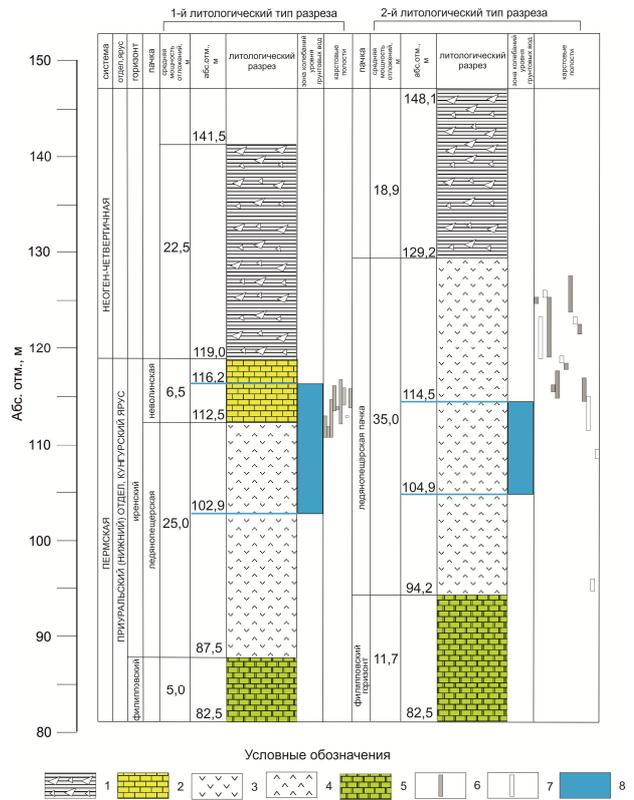


Рис. 2. Сводная стратиграфическая колонка района исследований: 1 – покровные отложения; 2 – пелитоморфный доломит; 3 – гипс; 4 – ангидрит; 5 – доломит; 6 – заполненная карстовая полость; 7 – незаполненная карстовая полость; 8 – зона колебаний уровня грунтовых вод

Совмещение литологических типов разреза с уровнями вскрытых карстовых полостей и зонами колебаний уровня грунтовых вод позволили нам установить следующую зависимость.

В 1-м литологическом типе разреза полости приурочены к контакту ледянопещерской и неволинской пачек иренского горизонта и находятся в зоне колебания уровня грунтовых вод (рис. 2). Всего вскрыто 9 карстовых полостей, из них 90 % заполнены глинисто-щебневым материалом. На участке распространения этого типа разреза провальные явления, связанные с карстово-суффозионными процессами, за последние 50 лет не зафиксированы.

Во 2-м случае, где сульфатные отло-

жения не перекрыты неволинской пачкой, полости фиксируются по всей толще ледянопещерских отложений и не привязаны к зоне колебания уровня грунтовых вод. На участке вскрыто 15 карстовых полостей, 50% из них заполнены глинисто-

щебневым материалом, а 50 % не заполнены и представляют непосредственную угрозу устойчивости территории. Это подтверждают 15 зафиксированных карстово-суффозионных провалов на данном участке.

Таблица 1. Скважины, вскрывшие карстовые полости на выбранном участке

№ п/п	№ скважины	Глубина скважины, м	Мощность карстующихся пород, м	Высота полости, м	Абс. отм. карстовой полости, м	Вид полости (характер заполнения)	Абс. отм. установившегося уровня грунтовых вод, м
1	58	57.5	39.1	0.6	124.8	заполненная	112.1
				4.6	118.8	незаполненная	
2	63	57	36.7	0.8	125.3	незаполненная	112.1
				6.3	119.0	заполненная	
3	71	40	14.1	0.9	115.5	заполненная	113.5
4	422	40	19.6	2.9	114.8	заполненная	111.4
5	765	45	23.2	2.2	110.7	заполненная	110.3
6	766	46	22.4	1.4	110.7	заполненная	102.9
7	767	45	19.9	4.1	110.6	заполненная	114.6
8	768	45	20.1	2.9	113.5	заполненная	108.3
9	769	65	33.3	0.3	113.7	заполненная	-
10	1099	70	29.2	0.8	118.3	незаполненная	113.4
				0.6	117.7	заполненная	
11	1102	70	31.9	4.2	123.8	заполненная	111.8
12	1103	70	29.2	0.8	122.6	незаполненная	111.2
				1.1	121.5	заполненная	
13	1107	39	13.7	2.5	114.5	заполненная	114.5
14	2097	70	37.5	1.5	94.4	незаполненная	104.9
15	2100	70	47.3	3.5	111.5	незаполненная	108.5
				1	108.5	незаполненная	
16	4188	61	33.9	5	111.9	заполненная	116.2
17	4189	40	20	1.8	114.1	заполненная	116.1
				0.2	112.7	незаполненная	
18	4193	32	7.9	2	113.8	заполненная	115.5

При 3D-моделировании была создана карта подземной закарстованности (рис. 3) участка III надпойменной террасы р. Сытва г. Кунгура, которая позволила определить количественные показатели подземной закарстованности этой территории и сравнить их с данными, полученными из ТСН 11-301-2004.

При этом значения коэффициентов

подземной закарстованности, полученные при помощи моделирования, вполне сопоставимы с данными ТСН 11-301-2004, но уточняют их в конкретных инженерно-геологических условиях локального объекта строительства.

Рассчитанные нами коэффициенты оказались на 4,8-5,2 % выше ТСН 11-301-2004, что подтверждает и конкретизирует

оценку карстоопасности исследуемой территории (рис. 4, табл. 2).

Кроме того, показатель объемной плотности карстовых полостей напрямую зависит от объема пород, вследствие чего математический расчет имеет большую погрешность.

Таблица 2. Сравнительная таблица методов подсчета коэффициентов подземной закарстованности

Показатели	ТСН 11-301-2004		Карта подземной закарстованности	
	1-й тип разреза	2-й тип разреза	1-й тип разреза	2-й тип разреза
1	10,7	11,0	11,2	11,6
2	2,1	3,4	2,2	3,6
3	54,7	56,5	57,4	59,3
4	49,2	51,1	51,7	53,6
5	0,1			
6	2,86	3,01		
7	0,68	0,71		
8	-	3,27		

Примечание. 1 – линейный коэффициент внутренней закарстованности массива, %; 2 – линейный коэффициент открытой закарстованности массива, %; 3 – линейный коэффициент общей закарстованности массива, %;

4 – линейный коэффициент поверхностной закарстованности карстующихся пород, %; 5 – коэффициент аномальности; 6 – линейная плотность карстовых полостей, шт/100 м; 7 – площадьная плотность карстовых полостей, шт/10⁴ м²; 8 – объемная плотность карстовых полостей, шт/10⁶ м³.

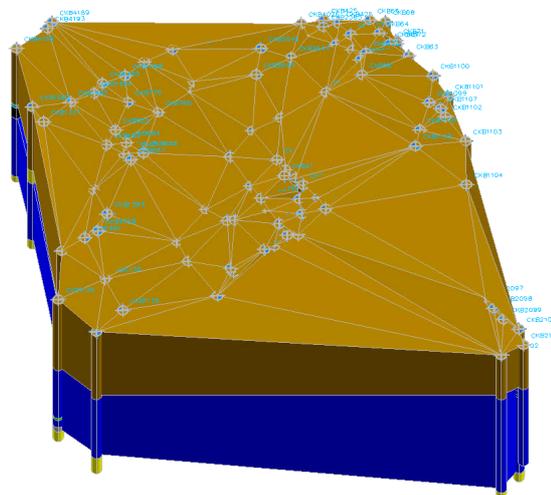


Рис. 3. Трехмерная модель подземной закарстованности участка исследований

Однако подсчет при помощи трехмерной модели позволяет получить данный коэффициент с минимальной погрешностью. В нашем случае он составил 3,27 карстовых полостей/10⁶ м³.

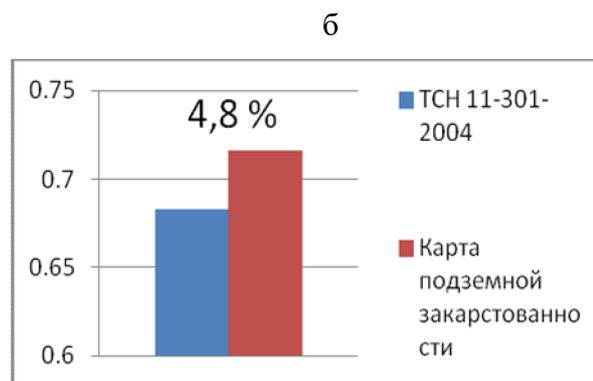
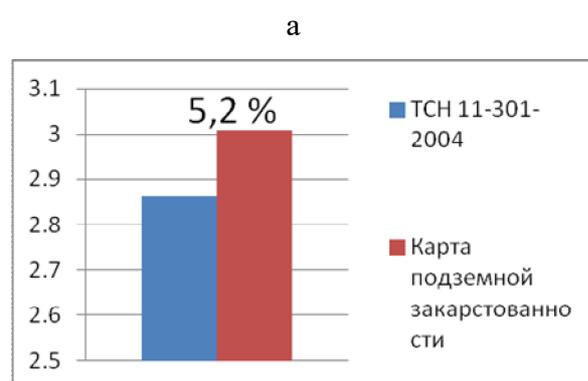


Рис. 4. Сравнение коэффициентов подземной закарстованности: а) линейная плотность карстовых полостей; б) площадьная плотность карстовых полостей

Выводы

Использование современных IT-технологий помогает создать пространствен-

ную модель состояния геологической среды территории, в том числе локального участка строительства, для оценки карстоопасности и прогнозирования развития

опасных геологических процессов. Привлечение данных физико-механических свойств вмещающих отложений, а также мониторинговые наблюдения позволяют решать прогнозные задачи по обеспечению безопасности при строительстве на территории г. Кунгура.

Библиографический список

ТСН 11-301-2004. Инженерно-геологические изыскания для строительства на закарсто-

ванных территориях Пермской области. Пермь, 2004. 122 с.

Катаев В.Н., Кадебская О.И. Геология и карст города Кунгура. Пермь, 2010. 236 с.

Лукин В.С., Ежов Ю.А. Карстовые явления и подземные воды северной части Уфимского плато. Кунгур, 1958.

Лукин В.С., Ежов Ю.А. Карст и строительство в районе Кунгура. Пермь, 1975. 118 с.

СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. М., 2000. 45 с.

Creation of a Three-Dimensional Map of Karstic Features in Carbonate-Sulfate Rocks within the City of Kungur

M.V. Bogomaz

Mining Institute of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 78A Sibirskaya Str, Perm 614990, Russia

E-mail: arc@mi-perm.ru

The problems of karst development in the urban areas are considered. A comparative analysis of the methods for calculating the main indicators of the underground karst occurrences in different types of lithological section was performed. As a result, a three-dimensional model of underground karst development within the Kungur urban area was compiled.

Key words: karst; sinkhole; lithological section; underground karst; three-dimensional model.

References

ТСН 11-301-2004. Inzhenerno-geologicheskie izyskaniya dlya stroitelstva na zakarstovanykh territoriyakh Permskoy oblasti [Engineering geological surveys for construction in karstified territories of the Perm region]. Perm, 2004, p. 122. (in Russian)

Kataev V.N., Kadebskaya O.I. 2010. Geologiya i karst goroda Kungura. [Geology and karst of the city of Kungur]. Perm, p. 236. (in Russian).

Ezhov Yu.A., Lukin V.S. 1958. Karstovye yavle-

niya i podzemnye vody v severnoy chasti Ufimskogo plato. [Karst phenomena and underground waters of a northern part of the Ufimian Plateau]. Kungur.

Lukin V.S., Ezhov Yu.A. 1975. Karst i stroitelstvo v rayone g. Kungura. [Karst and construction near city of Kungur]. Perm Publ., Perm, p. 118. (in Russian).

SR 11-105-97. 2000. Inzhenerno-geologicheskie izyskaniya dlya stroitelstva [Engineering and geological surveys for construction]. Moscow. (in Russian)