

УДК 556.314; 624.131.1

Щербаков С.В.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПОДЗЕМНОЙ ЗАКАРСТОВАННОСТИ ПОЛАЗНЕНСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Национальный исследовательский Пермский государственный университет

This work is devoted to consideration and characteristic of underground karst on the territory of Polaznenskiy Peninsula in Perm Region (Russia Federation). Basic factor of underground karst are underground voids or karstic cavities uncover in the course of boring. Main features of cavities, their spatial location, morphometric characteristics, type of filler and geological preconditions of its generation are analyzed in details.

Keywords: karst, cavities, Polaznenskiy Peninsula, karst hazard, lithologic-stratigraphical reference of cavities.

Данная работа посвящена рассмотрению и характеристике подземной закарстованности Полазненского полуострова, расположенного на территории Пермского края (Россия). Основным показателем подземной закарстованности являются подземные пустоты или карстовые полости, вскрываемые в ходе буровых работ. Детально проанализированы основные особенности полостей, их пространственное расположение, морфометрические характеристики, характер заполнителя, а также выявлены геологические предпосылки их формирования.

Ключевые слова: карст, полости, Полазненский полуостров, карстоопасность, литолого-стратиграфическая приуроченность полостей.

В настоящее время первостепенное значение при изучении карста и оценке степени опасности его проявления на закарстованных территориях отдается поверхностным карстовым формам, анализу их морфометрии и характеру распределения в пространстве. В анализ берутся, как правило, наиболее широко распространенные из них – провальные карстовые деформации, карстовые

воронки и реже локальные оседания земной поверхности. При исследованиях на мелкомасштабном уровне изучению подвергаются карстовые лога и котловины, поля воронок, а иногда и целые долины.

Предпочтение оценки карстоопасности территорий по поверхностным карстопроявлениям вполне очевидно. Такая оценка является экономически и физически наиболее просто осуществимой и дает вполне неплохие результаты. Это связано в первую очередь с относительной доступностью получения первичного материала в ходе проведения наземных карстологических наблюдений или аэрофотосъемок местности. Кроме того, к настоящему времени в практике отечественного карстоведения имеются отработанные методические схемы и подходы к анализу поверхностных карстовых форм. Это в первую очередь определение плотности их распространения в пространстве, интенсивности образования и средних диаметров. Все эти показатели для оценки рекомендованы соответствующими нормативными документами, сводами правил и рекомендациям по изысканиям и строительству в карстовых районах.

Однако далеко не всегда оценка, проводимая только по распространению и морфометрии провалов и воронок, носит однозначный характер. Нередки случаи активного карстообразования в районах, характеризующихся относительно устойчивыми категориями по нормативной классификации и соответственно малоопасными в плане развития карста. В то же время на участках широкого развития карстовых воронок, где их плотность может превышать 10 шт./км² образование новых провальных явлений может исключаться вовсе. Примером последнего может служить урбанизированная территория пос. Октябрьский Пермского края, где изысканиями в 50-70-е гг. XX столетия было зафиксировано порядка 70 карстовых воронок. Несмотря на это, провальные явления за последние 40-50 лет здесь практически не наблюдались. Все это говорит о том, что оценка устойчивости территорий к карсту только лишь по поверхностным карстовым формам не всегда самодостаточна и должна сопровождаться изучением подземной

закарстованности района. Об этом, собственно, неоднократно упоминается в ряде территориальных строительных нормативных документов, действующих в пределах регионов Российской Федерации, с активным развитием карстовых процессов [1-4].

Подземная закарстованность изучается с точки зрения исследования массива карстующихся пород и начинается с выделения основных литолого-стратиграфических комплексов – горизонтов и слоев коренных карстующихся и перекрывающих их некарстующихся отложений. Структурно-тектоническое строение, распределение локальных (местных) и региональных систем трещин в приповерхностной части массива определяют гидрогеологические особенности района и напрямую влияют на карстующиеся отложения, растворяя и вымывая последние. В результате подземное строение закарстованного массива нередко характеризуется нарушенным залеганием отдельных прослоев или целых горизонтов, формирующих так называемые зоны дробления или ослабленные зоны, где коренные карстующиеся отложения разрушены до крупнообломочного (дресва, щебень, отдельные глыбы) или мелкодисперсного (мучинистого) состояния [5]. Зоны дробления являются индикаторами и зачастую перемежаются с подземными пустотными пространствами – отдельными карстовыми полостями или целыми пещерами, нередко заполненными дисперсным материалом. Изучение подземных полостей является важной задачей при прогнозировании устойчивости территорий и определении степени карстоопасности [6].

Выявление карстовых пустот в толще массива возможно с применением ряда методов исследования – геофизических, гидрогеологических, геоморфологических и др. Геофизические методы занимают особую нишу. Исследованием геофизических полей, главным образом электромагнитных и сейсмических, при помощи общеизвестных геофизических методик (сейсмоакустические исследования, электромагнитное профилирование и зондирование) решаются задачи непрерывного исследования массива пород в любой его точке. Интерпретация геофизических данных позволяет с

достаточной точностью указывать места разуплотненного залегания коренных и четвертичных отложений, а вместе с тем и указывать на возможные пустоты в толще массива. Подобные задачи решаются также с применением георадарной съемки. Недостатком геофизических методов поиска является их применение на сравнительно небольших и ограниченных по площади участках. Гидрогеологические методы направлены на поиск родников и мест интенсивного поглощения поверхностного стока, которые являются указателями развитой подземной пустотности. Геоморфологические методы основаны на исследовании мезо- и микроформ рельефа, оконтуривании отдельных участков, как правило, с широкой поверхностной закарстованностью. Однако в целях карстологической оценки наиболее часто и легко применимыми являются результаты инженерно-геологических буровых работ «на карст», в особенности в пределах урбанизированных территорий, для которых имеется накопленный архивный фондовый материал по результатам многолетних изысканий.

Локализация подземных карстовых пустот на той или иной территории и их морфометрические характеристики, которые по данным буровых работ характеризуются лишь одним показателем – высотой или мощностью в толще закарстованного массива пород – носят неслучайный характер и определяются комплексом ряда действующих факторов. Среди таковых можно выделить мощности карстующейся толщи и перекрывающих их четвертичных и карстово-обвальных отложений; глубины и альтитуды залегания как карстующейся толщи в целом, так и отдельных литолого-стратиграфических прослоев; уровни грунтовых и карстовых вод; физико-механические свойства четвертичных перекрывающих отложений и прочностные особенности карстующихся пород; близость к водораздельному пространству и уклоны рельефа поверхности и т.д. Всю совокупность перечисленных факторов можно расклассифицировать и отнести к определенным группам, объединяющим в себе определенные схожие показатели: это группы показателей структурно-

тектонического, геоморфологического, геологического, гидрогеологического и инженерно-геологического строения карстового массива.

В данной работе детально проанализированы особенности морфометрии и формирования карстовых пустот Полазненского полуострова, расположенного в пределах территории Пермского края (Россия, рис. 1). В настоящей статье, среди перечисленных выше групп показателей формирования подземной полости, рассмотрены только геологические предпосылки. Анализ влияния геологического строения произведен путем совместного изучения подземных полостей и литолого-стратиграфических условий. Такой анализ проводится на основании имеющихся архивных данных буровых и горнопроходческих работ.

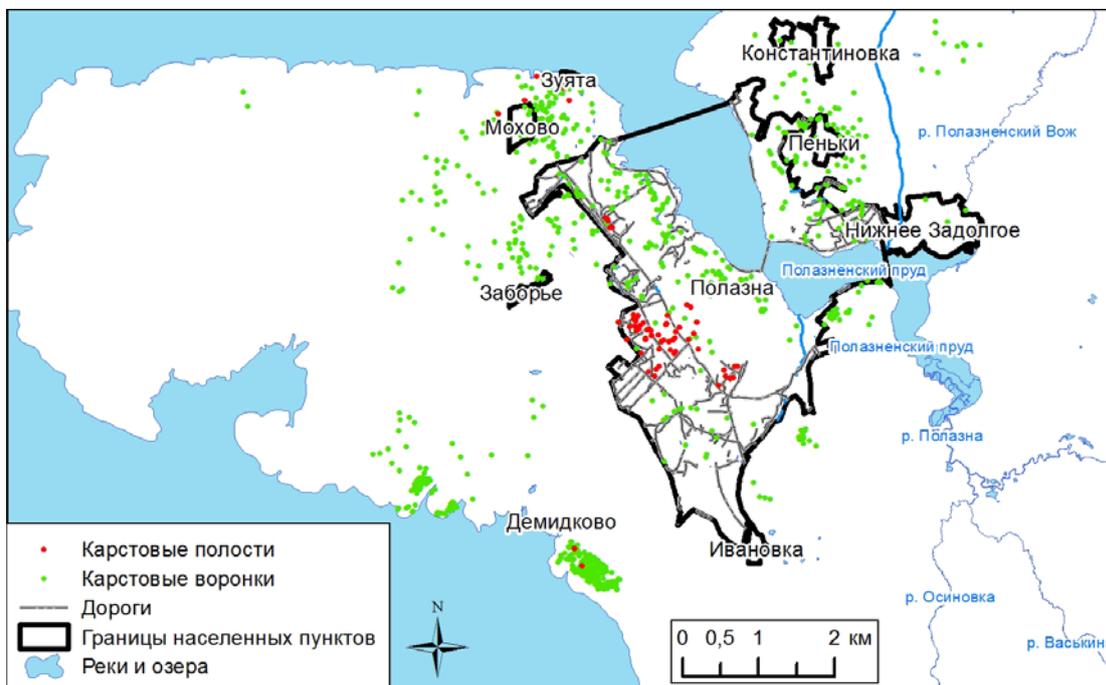


Рис. 1. Распространения карстовых воронок и полостей на территории Полазненского полуострова

Из 346 проанализированных карстологических инженерно-геологических скважин, пробуренных на территории полуострова, 60 из них вскрыли 154 карстовые полости, причем 147 полостей вскрыто в пределах пгт Полазна и лишь 7 полостей приходится на территорию д. Демидково. 8 полостей вскрыто 3 скважинами, не имеющими координатной привязки. Пространственное распределение полостей приведено рис. 1 и 2.

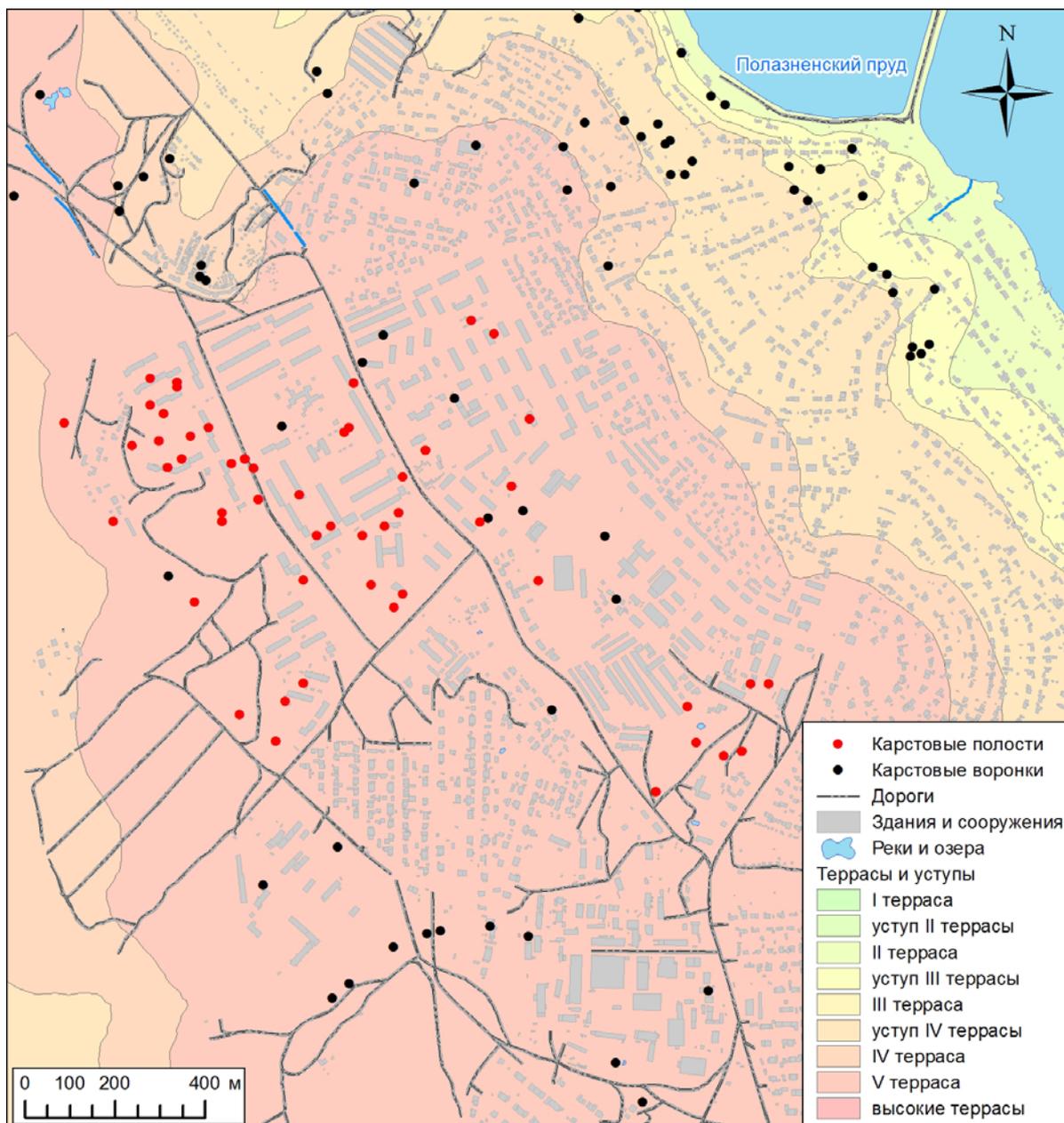


Рис. 2. Распространения карстовых воронок и полостей в пределах пгт Полазна на территории Полазненского полуострова

Из всего числа карстовых полостей 66 являются незаполненными, соответственно остальные 88 полостей заполнены различными терригенными отложениями. Среди заполнителя карстовых полостей преобладают тонкодисперсные отложения, представленные известковистыми и мергелистыми глинами и суглинками, реже супесью и песком с дресвой и щебнем коренных пород – мергеля, известняка, доломита, гипса, ангидрита (69 полостей). В некоторых случаях полости заполнены крупнообломочным

материалом с подчиненным присутствием дисперсных отложений или вовсе их отсутствием (13 полостей). Более подробная типизация карстовых полостей по характеру заполнителя приведена на рис. 3.

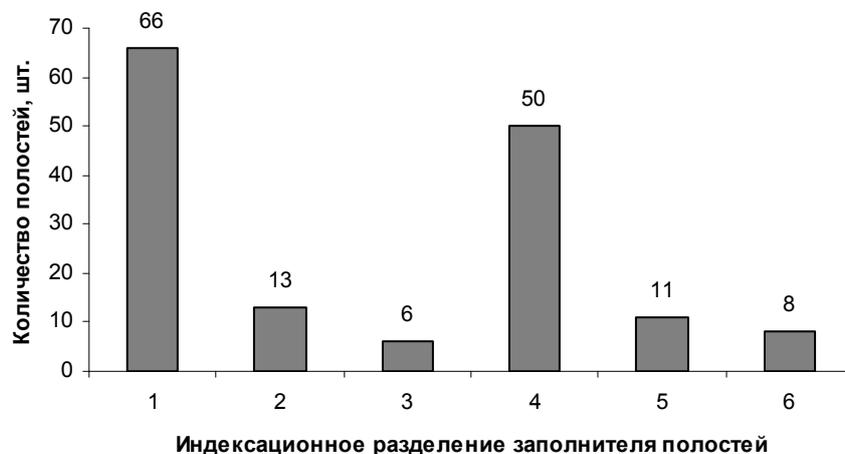


Рис. 3. Распределение карстовых полостей по характеру заполнителя: 1-воздух; 2 – глыбовой щебенистый; 3 – щебенисто-глинистый; 4 – глинисто-щебенистый; 5 – глинистый; 6 – песчаный с примесью крупнообломочных отложений

Глубина вскрытия большинства полостей составляет 30,0-70,0 м (128 шт.) в целом изменяясь в пределах от 17,0 до 82,6 м при среднем – 48,7 м. С увеличением и уменьшением параметра глубины количество карстовых полостей постепенно убывает, что соответствует нормальному закону распределения. Так, на глубинах превышающих 70,0 м обнаружено 8 полостей, на глубинах менее 20,0 м – 3 карстовые полости (рис. 4).

Абсолютные отметки вскрытия большей части карстовых полостей варьируют от 100,0 до 130,0 м (113 шт.). В целом наблюдается тенденция уменьшения количества полостей на небольших абсолютных отметках, менее 90,0 м, а общее распределение имеет отрицательную асимметрию (рис. 5). Пределы варьирования абсолютных отметок вскрытия кровли полостей изменяются от 60,6 до 145,7 м при среднем значении 114,7 м.

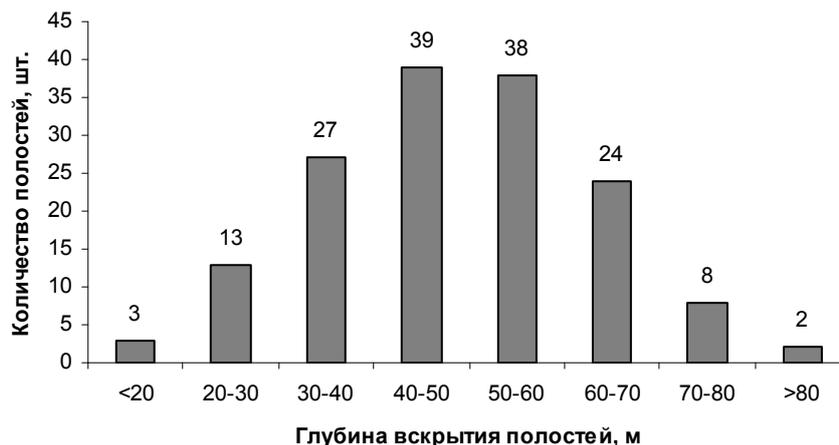


Рис. 4. Распределение карстовых полостей по глубине вскрытия

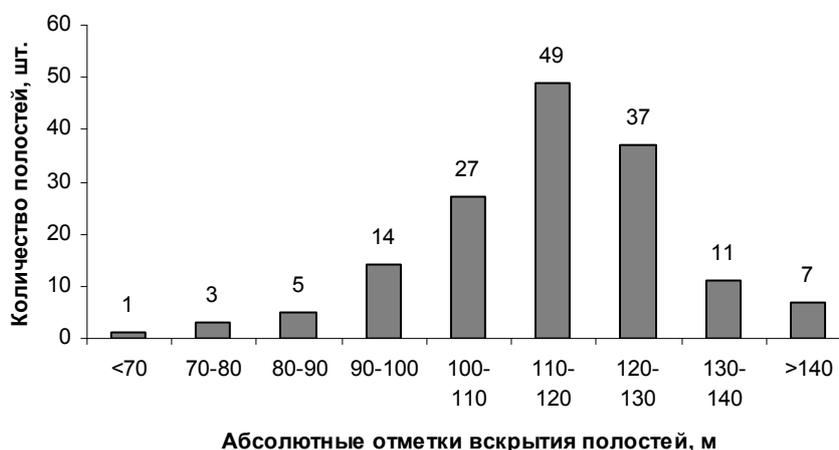


Рис. 5. Распределение карстовых полостей по абсолютным отметкам вскрытия

Большинство карстовых полостей (103 шт.) вскрыто в иренских сульфатно-карбонатных отложениях. По литологической приуроченности эти полости образованы в гипсах и ангидритах (79 шт.), реже в доломитах (14 шт.) и известняках с прослоями гипсов и ангидритов (10 шт.). В неоген-четвертичных отложениях вскрыто 32 пустоты, предположительно карстового происхождения. В литологическом отношении породы кровли этих пустот представлены в основном известняками и мергеля, находящимися в разрушенном состоянии вплоть до глин (25 шт.), обломками гипсов и

ангидритов (7 шт.). Наконец, 19 пустот, которым также приписывается карстовое происхождение, приурочены к карбонатным соликамским отложениям, где основные литологические разновидности пород – это известняки и мергели, лишь одна полость приурочена к доломитам. Часть полостей сформирована на контактах между различными литолого-стратиграфическими разностями (рис. 6).

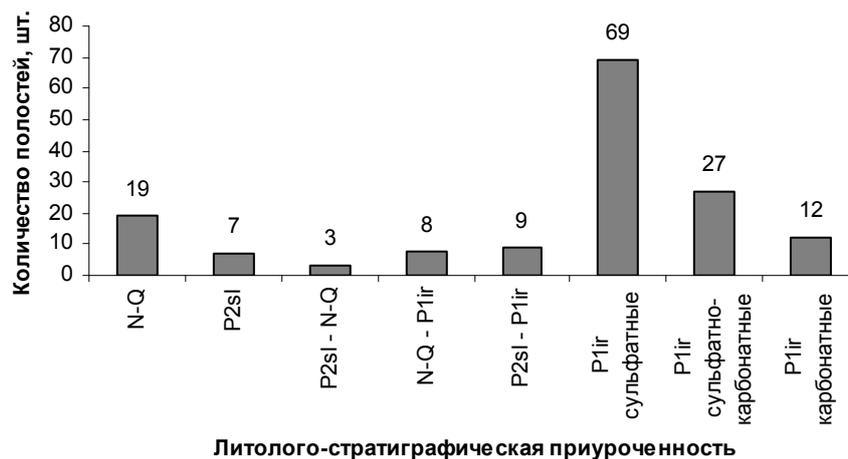


Рис. 6. Распределение карстовых полостей по литолого-стратиграфической приуроченности

Большинство полостей в высоту не превышает 2,0 м (96 шт.). С увеличением высоты полостей их количество постепенно убывает, а их распределение очень близко к логарифмически нормальному (рис. 7). Суммарная высота всех зафиксированных на изучаемых территориях полостей составляет 409,2 м. Самые невысокие полости вскрыты в толще иренских отложений и в высоту не превышают 0,2 м. Самая высокая полость вскрыта скважиной № 101 (арх. отчет. № 6576) в гипсоангидритовой толще, ее вертикальная мощность составляет 18,0 м. Средняя высота всех пройденных полостей составляет 2,7 м.

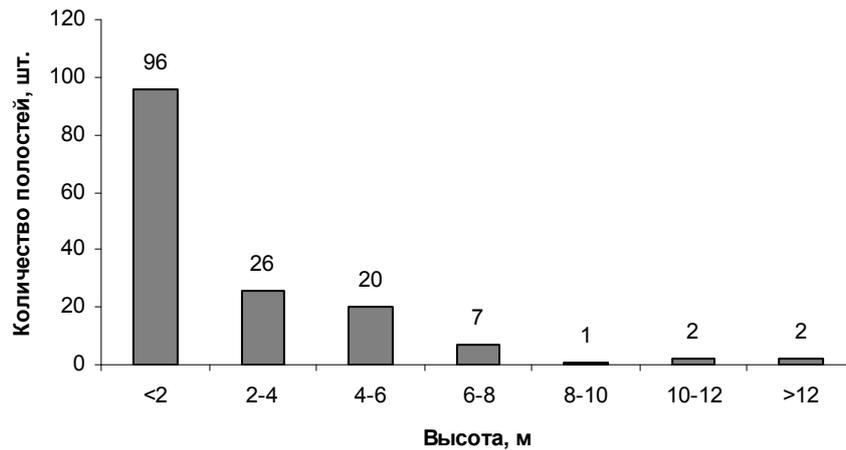


Рис. 7. Распределение карстовых полостей по высоте

Как отмечено выше, карстовые полости в геологическом разрезе встречаются в толщах пород разного литологического состава и возраста, а также на их контактах. При этом различные стратиграфические горизонты характеризуются особым сочетанием отложений и контактов. В толще неоген-четвертичных обвальнo-карстовых отложений наиболее часто карстовые полости были встречены в мергелях и известняках – 12 и 4 раза соответственно. В пределах соликамского горизонта в 5 случаях из 7 полости сосредоточены в толще известняков. На контакте раздробленных мергелей обвальнo-карстовых отложений и ангидритов иренского горизонта встречено 4 полости. В толще собственно сульфатно-карбонатных пород иренского горизонта наиболее опасными литологическими разностями являются гипсы и ангидриты, в толще которых зафиксировано, соответственно 34 и 16 полостей. Также стоит отметить контактовые зоны между карбонатными (известняки, доломиты) и сульфатными (гипсы и ангидриты) отложениями. Более подробно тенденция формирования полостей в геологическом разрезе исследуемых территорий изложена в табл. 1, в которой, помимо всего прочего, приведена краткая статистическая информация по полостям.

Литолого-стратиграфическая приуроченность подземных карстовых полостей

Литология карстующихся пород	Характеристика карстовых полостей							
	Кол-во, шт.	Глубина залегания, м		Абсолютные отметки залегания, м		Высота (мощность по вертикали), м		
		интервал изменения	среднее значение	интервал изменения	среднее значение	интервал изменения	среднее значение	суммарное значение
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>1. Толща неоген-четвертичных обвально-карстовых отложений</i>								
Мергель	12	20,0-63,0	42,3	128,3-75,5	108,2	0,5-3,9	1,7	20,9
Мергель – известняк	1	40,5-41,5	41,0	128,8-127,8	128,3	1,0	1,0	1,0
Известняк	4	27,5-32,2	29,5	141,8-109,5	125,0	0,5-2,0	1,1	4,4
Известняк – гипсоангидрит	1	40,1-44,0	42,1	123,9-120,0	122,0	3,9	3,9	3,9
Глина мергелистая	1	17,0-29,0	23,0	102,4-90,4	96,4	12,0	12,0	12,0
Всего	19							42,2
<i>2. Толща соликамских карбонатно-терригенных отложений</i>								
Известняк	5	17,0-49,8	30,9	143,7-123,9	134,9	0,3-4,5	1,9	9,5
Известняк – алевролит	1	31,0-38,5	34,8	136,3-128,8	132,6	7,5	7,5	7,5
Доломит – ангидрит	1	36,4-37,4	36,9	102,9-101,9	102,4	1,0	1,0	1,0
Всего	7							18,0
<i>3. На контактах между соликамскими карбонатно-терригенными и неоген-четвертичными обвально-карстовыми отложениями</i>								
Известняк	2	30,5-32,8	31,7	142,6-136,4	139,5	1,3-1,5	1,4	2,8
Известняк – мергель	1	28,7-32,0	30,4	95,4-92,1	93,8	3,3	3,3	3,3
Всего	3							6,1
<i>4. На контактах между неоген-четвертичными обвально-карстовыми и иренскими сульфатно-карбонатными отложениями</i>								
Мергель – ангидрит	4	41,5-68,0	59,7	127,8-107,5	114,3	0,5-2,5	1,6	6,4
Известняк – гипс	1	28,8-30,0	29,4	145,7-144,5	145,1	1,2	1,2	1,2
Известняк – доломит	1	44,5-51,7	48,1	103,0-95,8	99,4	7,2	7,2	7,2
Доломит	1	30,6-32,0	31,3	86,7-85,3	86,0	1,4	1,4	1,4
Глина мергелистая – ангидрит	1	57,0-59,0	58,0	111,2-109,2	110,2	2,0	2,0	2,0
Всего	8							18,2
<i>5. На контактах между соликамскими карбонатно-терригенными и иренскими сульфатно-карбонатными отложениями</i>								
Мергель – ангидрит	2	58,0-75,0	67,2	115,5-100,7	107,4	1,5-4,4	3,0	5,9
Мергель – доломит	1	34,0-47,0	40,5	138,3-125,3	131,8	13,0	13,0	13,0
Известняк – гипс	5	34,6-66,5	54,2	141,2-107,4	120,7	0,5-3,5	1,8	9,2
Известняк – доломит	1	29,6-32,8	31,2	116,7-113,5	115,1	3,2	3,2	3,2
Всего	9							31,3
<i>6. Толща иренскими сульфатно-карбонатных отложений</i>								
Гипс	34	31,4-72,4	50,5	139,5-98,8	118,2	0,3-7,5	2,2	75,0
Гипс – гипсоангидрит	3	52,5-64,5	58,0	121,7-108,6	114,6	1,7-6,0	3,2	9,7
Гипс – ангидрит	8	43,5-68,4	54,1	128,0-100,0	110,9	0,7-18,0	5,7	45,5
Гипс – доломит	6	48,0-76,0	58,9	129,6-96,3	112,2	0,2-4,5	1,4	8,5
Гипс – мергель	1	58,0-60,0	59,0	114,1-112,1	113,1	2,0	2,0	2,0
Гипс – алевролит	2	51,0-59,3	53,3	123,5-115,2	121,2	0,5-7,8	4,2	8,3
Гипс – аргиллит	1	57,9-59,7	58,8	109,9-108,1	109,0	1,8	1,8	1,8
Гипсоангидрит	3	39,0-52,0	46,3	125,8-119,4	122,3	1,0-2,3	1,9	5,6
Гипсоангидрит – гипс	1	54,5-56,4	55,5	119,7-117,8	118,8	1,9	1,9	1,9
Гипсоангидрит – ангидрит	3	54,0-69,9	61,7	118,3-104,9	112,1	1,2-12,0	5,9	17,7
Гипсоангидрит – доломит	3	61,0-73,5	65,3	107,6-101,3	105,4	1,0-3,6	2,0	6,1
Ангидрит	16	37,0-88,4	61,3	130,6-88,5	112,1	0,5-6,7	3,1	48,9
Ангидрит – гипс	1	58,0-60,0	59,0	116,0-114,0	115,0	2,0	2,0	2,0
Ангидрит – доломит	1	60,0-62,0	61,0	113,1-111,1	112,1	2,0	2,0	2,0
Ангидрит – известняк	1	35,1-41,5	38,3	100,0-94,0	97,0	6,0	6,0	6,0
Доломит	5	31,6-51,9	37,8	116,9-79,9	97,8	0,3-0,7	0,5	2,6
Доломит – гипс	6	32,3-81,5	49,0	124,6-97,7	114,1	0,2-5,5	3,0	18,0

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Доломит – гипсоангидрит	1	48,0-49,0	48,5	124,3-123,3	123,8	1,0	1,0	1,0
Доломит – ангидрит	2	37,7-82,0	59,8	97,7-79,3	88,5	0,3-0,5	0,4	0,8
Известняк	5	41,0-75,0	56,4	98,3-60,1	81,1	0,5-5,0	2,4	12,2
Известняк – ангидрит	4	22,0-60,5	39,7	126,5-105,2	114,7	0,5-3,6	2,3	9,1
Известняк – доломит	1	49,9-58,6	54,3	89,4-80,7	85,1	8,7	8,7	8,7
Всего	108							293,4
ИТОГО	154							409,2

Максимальные вертикальные размеры карстовых полостей наблюдаются на контактах карбонатно-терригенных пород соликамского горизонта и сульфатно-карбонатных пород иренского горизонта (до 13,0 м, в среднем 5,3 м). Кроме того немалой вертикальной мощностью характеризуются карстовые полости в сульфатных породах иренского горизонта (от 2,2 до 5,7 м) и в пределах соликамского горизонта (от 1,9 до 7,5 м, рис. 8). В толще неоген-четвертичных отложений одна полость, согласно геологического описания колонки буровой скважины, вскрыта в слое мергелистых глин и имеет высоту 12,0 м. Это значение аномально отличается от остальных в выборке, поэтому при статистических расчетах при определении средней высоты карстовых пустот для неоген-четвертичных отложений не использовалось. К сожалению, более комплексный и достоверный вывод сделать практически невозможно, ввиду недостаточности изначального материала, и как следствие, слабой репрезентативности полученных в табл. 1 выборок.

Проведенный анализ позволил выявить морфометрические особенности карстовых полостей, развитых в пределах Полазненского полуострова. Распределения, полученные для высоты, абсолютных отметок и глубин залегания кровли полостей, в целом, являются типовыми и повторяют оные, полученные ранее для территории г. Кунгур [7]. Максимальная встречаемость и максимальные мощности полостей, приуроченные к контактам слабо и хорошо растворимых пород, опять же в очередной раз подтверждают результаты исследований прошлых лет [7] и позволяют переходить к построению прогнозных теоретических моделей процесса подземного карстообразования.

Полученные сведения являются весьма полезными при последующих построениях при оценке карстоопасности территории полуострова, разработках генерального плана дальнейшего развития и обеспечения рационального природопользования в целом.

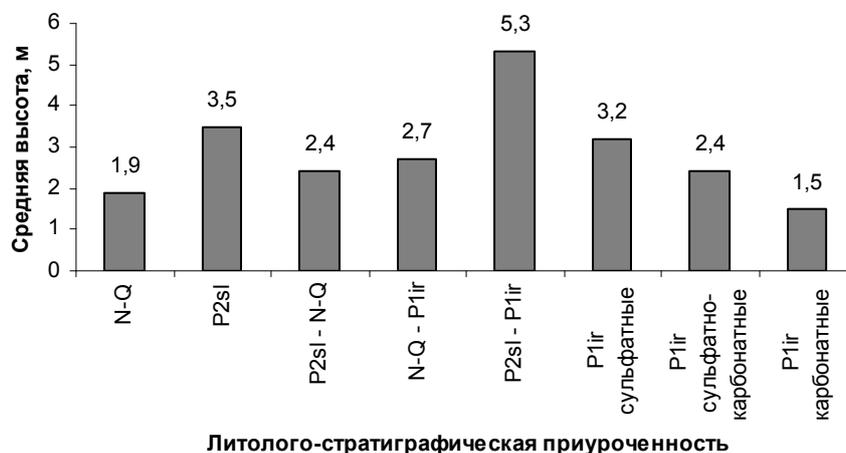


Рис. 8. Распределение средней высоты карстовых полостей по литолого-стратиграфической приуроченности

Литература:

1. ТСН 302-50-95 РБ. Инструкция по изысканиям, проектированию, строительству и эксплуатации зданий и сооружений на закарстованных территориях. Уфа: Госстрой Респ. Башкортостан. 1996. 44 с.

2. ТСН 22-308-98 НН. Инженерные изыскания, проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений на закарстованных территориях Нижегородской области. Н. Новгород, 1999. 72 с.

3. ТСН 11-301-2004 По. Инженерно-геологические изыскания для строительства на закарстованных территориях Пермской области. Пермь, 2004. 122 с.

4. ТСН 31-11-2005 Пк. Проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений на закарстованных территориях Пермского края. Пермь, 2005. 46 с.

5. Щербаков С.В. Анализ подземной закарстованности на территории Полазненского полуострова // Геология в развивающемся мире: материалы I Всеросс. конф. студ., асп., и молодых ученых: в 2 т. Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2010. Т. 2. С. 43-46.

6. Щербаков С.В. Методика комплексной оценки карстоопасности урбанизированных территорий // Тезисы материалов молодежной научной конференции «Ломоносов-2010». Москва: Изд-во МГУ, 2010 (электронная версия).

7. Ковалева Т.Г., Золотарев Д.Р., Щербаков С.В. К характеристике подземной закарстованности территории г. Кунгур // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Изд-во Перм. ун-та, 2007. С. 210-212.