

ПОДЗЕМНЫЙ РЕЛЬЕФ КАРСТУЮЩИХСЯ ПОРОД КАК ИНДИКАТОР ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФОРМ КАРСТА

¹Жовалёва Т.Г., ¹Катаев В.Н.

¹ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», Пермь, Россия (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15), e-mail: kovalevatg@mail.ru, kataev@psu.ru

На современном этапе развития инженерного карстования возникла необходимость изменения парадигмы карстологического прогноза с сокращенного варианта «практического» анализа параметров поверхностных форм карста и их формального распределения по территории на «полный» анализ, учитывающий особенности пространственного распределения, морфологию и морфометрию поверхностных и подземных форм карста, возникающие под влиянием особенностей геолого-гидрогеологического строения карстующегося массива. Практика карстологических исследований свидетельствует о том, что базовым оценочным признаком на «закрытых» участках в условиях слабого проявления элементов наземного рельефа может являться рельеф «подземный» – рельеф кровли карстующихся пород, вернее, его элементы: останцы (склоны и вершины), линейные и плоские депрессии, седловины между останцами. Рельеф кровли карстующихся пород является отражением трещинной структуры массива, дифференцирующей степень водопроницаемости, локализирующей поверхностные и подземные воды, что в конечном итоге определяет интенсивность растворения и локализацию полостей в пласте и воронок в перекрывающих отложениях.

Ключевые слова: геологическое строение, карстовые формы, карстоопасность, прогноз.

UNDERGROUND RELIEF OF KARST ROCKS AS AN INDICATOR OF SPATIAL DISTRIBUTION OF THE KARST FORMS

¹Kovaleva T.G., ¹Kataev V.N.

¹Perm State National Research University, Perm, Russia (614990, Perm, street Bukireva, 15), e-mail: kovalevatg@mail.ru, kataev@psu.ru

At the present stage of development of engineering karstology there was a necessity of change of paradigm of karst forecast from the reduced variant of the "practical" analysis of parameters of the surface karst forms and their formal distribution on territory on the "complete" analysis considering features of spatial distribution, morphology and parameters surface and underground karst forms arising under influence of features of the geological-hydrogeological structure of the karst massifs. Practice of the karst investigations suggests that the basic evaluation feature of the «closed» sections in low relief terrestrial manifestation can be «underground» relief (buried karst relief) – relief of karst rocks roof rather its elements: «high grounds» (slopes and peaks), linear and planar depressions, saddle between high grounds. Relief of the karst rocks roof is a reflection of the fracture array structure, differentiating the degree of permeability, localizing surface water and groundwater, which ultimately determines the intensity and localization of dissolution cavities in the formation and the sinks in the covering depositions.

Keywords: geologic structure, karst forms, karst danger, forecast.

Для объективной оценки приуроченности той или иной территории к району повышенной активности карста необходимо провести «полный» анализ, учитывающий особенности пространственного распределения, морфологию и морфометрию поверхностных и подземных форм карста под влиянием особенностей геолого-гидрогеологического строения карстующегося массива. Теоретические основы такого анализа и особенности экспертной оценки при карстологическом прогнозе подробно рассмотрены авторами в работе [4]. Под карстологическим прогнозом авторы понимают *научно обоснованное предсказание условий и факторов состояния, последовательности и механизма развития карстового массива в целом или его отдельных элементов, включая карстовые формы* [2].

В данной работе представлены результаты одного из этапов карстологического анализа территории в районе с. Усть-Кишерть (Предуралье), где развит сульфатно-карбонатный карст. Этап карстологического анализа связан с пространственным сопоставлением элементов рельефа кровли карстующихся пород и форм карста. Морфологические особенности поверхностного или закрытого (палео-) карстового макрорельефа в основном обусловлены двумя видами неоднородности строения массива: литологическим (структурно-текстурным) и структурно-тектоническим (чаще трещинным). В результате пересечения слаботрециноватых зон и зон повышенной трещиноватости на поверхности карстовых массивов образуются три типа участков: сильного дробления, среднего дробления и слабого дробления. Морфологически в пределах толщи карстующихся пород сильнораздробленным участкам соответствуют депрессии, среднераздробленным – седловины между останцами, слабораздробленным – останцы.

Следует отметить, что крупномасштабное карстологическое районирование с использованием особенностей погребенного карстового рельефа в качестве базового признака равнозначно эффективно как для массивов сульфатного, сульфатно-карбонатного, так и карбонатного состава. Особенности распределения форм карста, определяющие неоднородность устойчивости территорий относительно элементов погребенного карстового макрорельефа, практически едины для перечисленных литологических типов.

Особенности геолого-гидрогеологического строения карстующегося массива

В структурном отношении исследуемый район занимает восточную окраину Восточно-Европейской платформы в пределах северной части Уфимского вала и Предуральский прогиб в пределах Сылвенской впадины. В геологическом строении района принимают участие отложения артинского, кунгурского ярусов нижней перми, неоген-четвертичные карстово-обвальные отложения; аллювиальные и аллювиально-делювиальные четвертичные образования.

Артинский ярус в пределах изучаемой территории залегает на разной глубине: от 0,2 до 82,0 м, на поверхность артинские рифовые известняки выходят в долине р. Сылва у д. Грибушино. Кунгурский ярус нижней перми представлен филипповским и иренским горизонтами. Первый из них сложен «Лекской свитой» - переходным типом от карбонатно-сульфатных отложений к сульфатно-терригенным. Залегает филипповский горизонт на глубине 0,2-116,5 м, представлен преимущественно карбонатными породами: известняками и доломитами с прожилками гипса и ангидрита.

Отложения иренского горизонта нижней перми на территории с. Усть-Кишерть залегают на глубине до 102,5 м и представлены сульфатно-карбонатными и карбонатно-глинистыми («Поповская свита») породами. Карбонатно-глинистые отложения (глины, мергели, известняки, доломиты) подстилаются сульфатными с карбонатными пачками. Последние

часто выклиниваются, достигают мощности 14,0-15,0 м, однако в разрезе наблюдается преобладание сульфатных пород. В местах замещения карбонатного разреза сульфатным образуются карстовые полости больших размеров, заполненные щебнем, глыбами и глинистым материалом. Сульфатная толща неравномерно трещиноватая: в верхней части толщи и вблизи крупных карстовых полостей сульфатные породы сильнотрещиноватые, сильновыветрелые, иногда до щебня и дресвы. Мощность иренского горизонта достигает 130 м и более.

Неоген-четвертичная система широко распространена на территории пгт Усть-Кишерть, ее слагают карстово-обвальные отложения мощностью до 82,5 м, представленные известковыми глинами, суглинками, супесями, щебнем и дресвой коренных пород.

Четвертичная система на территории пгт Усть-Кишерть имеет мощность до 65,0 м и представлена аллювиальными и делювиально-элювиальными отложениями. Аллювиальные отложения представлены суглинками, глинами, супесями, песками и гравийно-галечниковыми грунтами. Делювиально-элювиальные отложения представлены щебенистым грунтом с дресвой и глинистым заполнителем.

Гидрогеологические условия исследуемого района отличаются разнообразием, но вместе с тем и сложностью. Восточная его часть входит в гидрогеологическую область Юрюзано-Сылвенской впадины. В долинах рек Сылвы и Барды развиты грунтовые воды аллювиальных отложений. Основным для данной территории является кунгурский терригенный водоносный комплекс. Загипсованность пород, наличие линз и прослоев соли привели к тому, что ниже эрозионного вреза рек развиты минерализованные сульфатные и хлоридные напорные воды. По трещинным зонам в сводах положительных структур Тулумбасского вала они поднимаются близко к поверхности. В долинах рек Сылвы, Барды, Асовки, Лека эти воды разгружаются в виде родников. Мощность зоны пресных подземных вод обычно не превышают 20 м. Второй особенностью района является наличие чередующихся сверху вниз водоносных и водоупорных слоев. Водоносные слои с пресными водами часто находятся в подвешенном состоянии, т.е. выше вреза речных долин. Нарушением подстилающего их водоупора можно вызвать переток пресных вод вниз – в зону минерализованных вод [5].

Характеристика закарстованности массива

В зависимости от литологии карстующейся толщи и покрывающих ее отложений карстопроявления на различных участках района характеризуются различной интенсивностью. Выявлено, что большинство подземных полостей, вскрытых при бурении (55 полостей, 62%), образовалось в гипсах и ангидритах иренского горизонта пермской системы.

Абсолютные отметки залегания кровли иренских отложений кунгурского яруса нижней перми колеблются в широких пределах: от <40 до >250 м. Максимальное количество

карстовых полостей (22 шт., 31,4%) было вскрыто инженерно-геологическими выработками на территориях, где изогипсы кровли иренских отложений варьируют в пределах 110-120 абс. м, также большое количество полостей (15 шт.) выявлено на участках, где абсолютные отметки кровли иренских отложений характеризуются интервалом 90-110 м. Большинство карстовых воронок (34 шт., 19,8%) зарегистрировано в районе распространения изогипс кровли иренских отложений с отметками 90-100 абс. м. В целом карстовые формы были выявлены на тех участках, где кровля толщи иренских гипсоангидритов расположена на отметках 70-130 м (рис. 1).

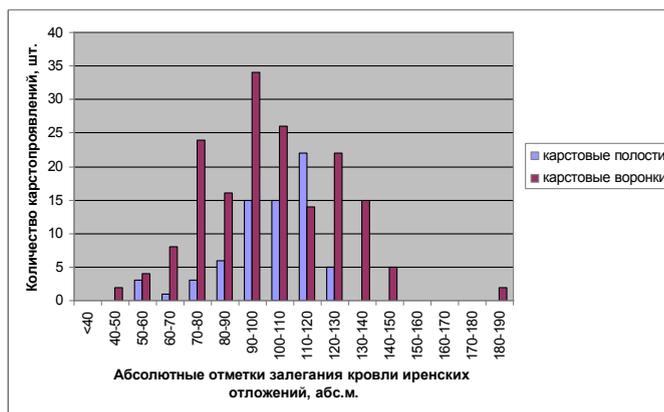


Рис. 1. Частота встречаемости карстовых форм в пределах территорий с различными абсолютными отметками залегания кровли иренских отложений.

Рельеф кровли иренского горизонта в районе с. Усть-Кишерть представляет собой полузамкнутую депрессию, открытую на северо-запад (рис. 2). По верхней «бровке» депрессия фактически ограничена изолинией с абсолютной отметкой 110 м, а её отдельные участки в центральной части опущены относительно бровки на 90 м, в редких случаях на 100-110 м – до абсолютных отметок 30-20 м. Не исключается предположение, что генетически депрессия имеет эрозионно-карстовое происхождение. Для Кишертского карстового района, куда территориально входит с. Усть-Кишерть, депрессии карстового происхождения являются характерными формами, и именно в пределах депрессий выделены такие карстовые участки, как Низковский, Озерный, Дреминский, Бурцевский [1]. Вероятно, что для зоны сочленения Восточно-Европейской платформы и Предуральяского краевого прогиба (восточное погружение Уфимского брахиантиклинала), для тех участков зоны, где карбонаты артинского и филипповского горизонтов кунгурского яруса перекрываются сульфатами поповской свиты, депрессии – неизбежный результат реализации специфических геолого-структурных и гидрогеологических обстановок. Дно депрессии осложнено мульдообразными понижениями и куполовидными возвышенностями. Последние представляют собой своеобразные «останцовые» формы погребенного рельефа высотой 10-20 м. Вершины останцов характеризуются отметками 110-120 м, а их подошвы фиксируются на отметках 100-110 м.

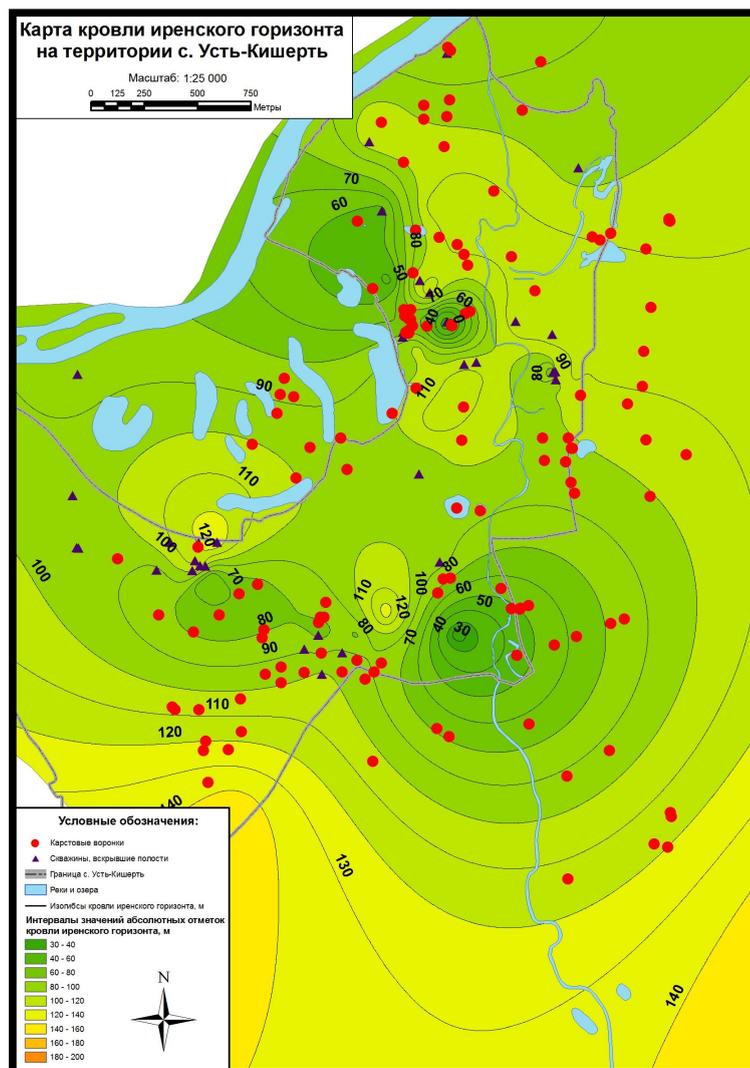


Рис. 2. Карта кровли иренского горизонта на территории с. Усть-Кишерть.

Мульды, характеризующие понижения рельефа кровли иренского горизонта, имеют, как правило, округлую, изометричную форму в плане. По глубине мульды делятся на два типа: относительно глубокие и относительно мелкие. Дно глубоких мульд опущено относительно бровки депрессии на 70-80 м. Их дно зафиксировано на абсолютных отметках 10-20 м. Глубина мелких мульд относительно бровки депрессии достигает 40-50 м. Дно мелких мульд фиксируется на абсолютных отметках 50-70 м. Не лишено смысла предположение, что мульды сформировались как результат локальных вертикальных перетоков вод покровов и вод иренского горизонта в нижележащие карбонаты артинского и филипповского горизонтов или наоборот.

Следует отметить, что помимо мульдообразных понижений и куполовидных возвышенностей в рельефе выделяются относительно узкие седловины, соединяющие глубокие и мелкие мульды. Борты седловин ограничены изолиниями с абсолютными отметками 80 м.

Анализ пространственного распределения подземных (полостей) и поверхностных

(воронки, котловины провальных озер) карстовых форм свидетельствует об их приуроченности к определенным формам погребенного рельефа кровли иренского горизонта. Абсолютное большинство вскрытых бурением полостей, образующих скопления, приурочено к двум типам рельефа: полости в пределах седловин и полости в пределах подошвы относительно крутых бортов останцов – в местах их сочленения с бровкой соседней мульды. В единичных случаях были зафиксированы полости, находящиеся в приборочных зонах мульд.

Карстовые воронки пространственно тяготеют к мульдам, часто группируясь в виде «разряженных» цепочек, ориентированных от бровки мульды к их центру, вероятно трассируя дизъюнктивы, бывшие гидрогеологически активными в определенный период карстообразования. Подобные цепочки воронок, но более плотные, практически соприкасающиеся бортами, характерны для наиболее узких участков седловин. Здесь цепочки воронок ориентированы вкрест простирания седловин. Относительно изометричные поля воронок, без явной пространственной ориентировки, характерны для приборочных участков седловин в их внешней по отношению к центру депрессии частям. Карстово-обвальное образование («карстовые брекчии») представлены щебнем и дресвой сильно выветрелого мергеля, известняка, доломита, ангидрита с глинистым заполнителем (20-30%). Мощность карстово-обвальных отложений, залегающих непосредственно под четвертичными отложениями на глубине 15,3-28,0 м, колеблется от <10 до >80 м. Абсолютные отметки кровли залегания неоген-четвертичных отложений варьируют от <50 до >230 абс. м. Их максимальная мощность (80 м) выявлена в юго-восточной и центральной частях с. Усть-Кишерть, а минимальные значения зафиксированы в его северо-восточной и юго-западной окраинах. Для Кишертского района, как правило, мощность неоген-четвертичных отложений не превышает 10 м [3].

Большинство карстовых полостей зарегистрировано на территории с мощностью карстово-обвальных образований 10-20 и 20-30 м (9 шт. – 11% и 13 шт. – 16% соответственно). Карстовые воронки в большинстве случаев (56 шт., 29,6%) сформировались в пределах территорий с мощностью карстово-обвальных отложений менее 10 м (рис. 3). Образование поверхностных и подземных карстовых форм в пределах территорий с различными абсолютными отметками залегания кровли карстово-обвальных отложений имеет следующую тенденцию – карстовые полости в большинстве случаев (17 шт., 18,3%) образованы на площадях с абсолютными отметками 110-120 абс. м; карстовые воронки – 110-130 абс. м (62 шт., 32,8%) (рис. 4).

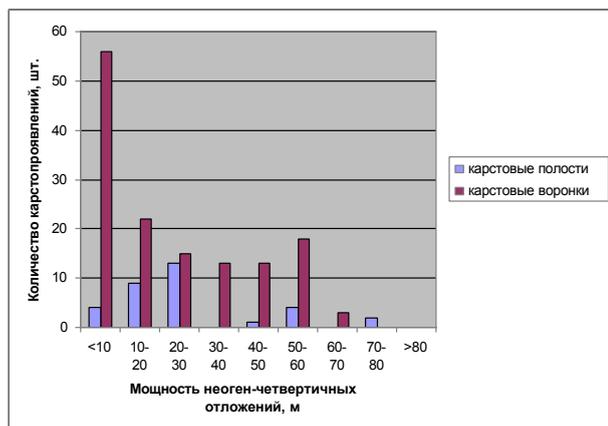


Рис. 3. Частота встречаемости карстовых форм в пределах территорий с различной мощностью неоген-четвертичных образований.

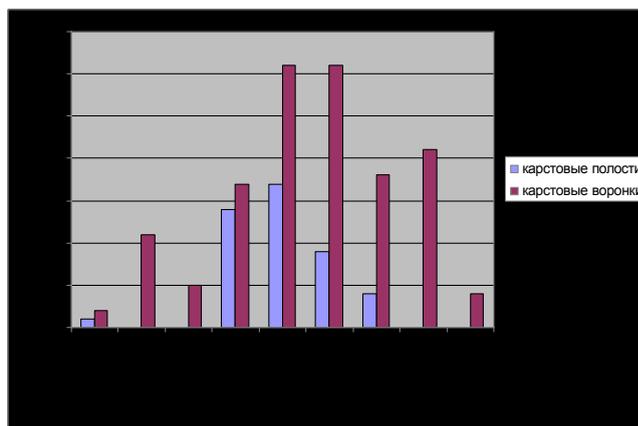


Рис. 4. Частота встречаемости карстовых форм в пределах территорий с различными абсолютными отметками залегания кровли неоген-четвертичных образований.

Четвертичные отложения представлены суглинками (в том числе просадочными), глинами, супесями, песками и гравийно-галечниковыми грунтами. Мощность их варьирует от <5 до >50 м. Максимальная мощность четвертичных отложений (более 50 м) встречена в северо-восточной части исследуемой территории. В центральной и юго-западной части территории выявлены небольшие участки с мощностью данного типа отложений более 40 м. На большей площади исследуемой территории мощность четвертичных отложений составляет 10-20 м. Большинство карстовых полостей (25 шт., 30,9%) вскрыто бурением на площадях с мощностями четвертичных отложений 15-20 м, а максимальное количество карстовых воронок (70 шт., 37,0%) – с мощностями 10-15 м (рис. 5). Таким образом, суммарная мощность покровных отложений (четвертичных и неоген-четвертичных) варьирует от 10 до 100 м. Наименьшую мощность покровные отложения имеют в северо-восточной и северо-западной части села Усть-Кишерть.

Подземные и поверхностные карстопроявления, как правило, фиксируются в пределах территорий, характеризующихся мощностью покровных отложений в интервале 10-20 м. На этих территориях зафиксировано 55 воронок и вскрыто бурением 20 карстовых полостей. Вместе с тем большое количество как поверхностных, так и подземных карстопроявлений выявлено и на территориях, где мощность покровных отложений изменяется от 20 до 80 м (рис. 6).

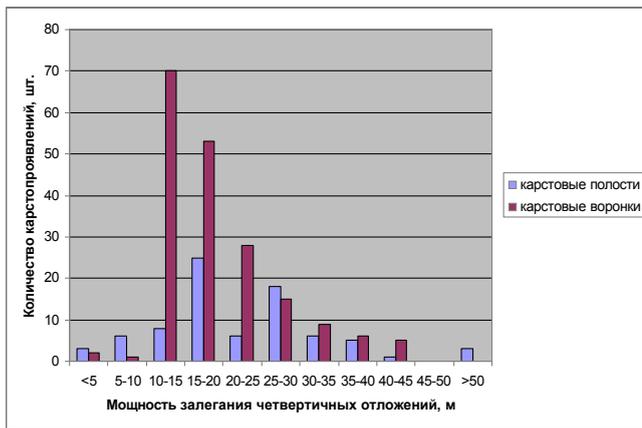


Рис. 5. Частота встречаемости карстовых форм в пределах территорий с различными мощностями четвертичных отложений.

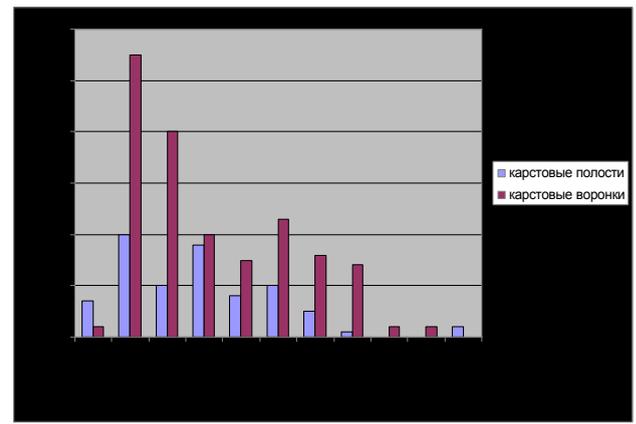


Рис. 6. Частота встречаемости карстовых форм в пределах территорий с различными мощностями покровных отложений.

Выводы

Таким образом, анализ пространственного соотношения особенностей геологического строения территории, поверхностных и подземных карстовых форм позволил авторам выделить ряд показателей, которые могут являться прогностическими для оценки карстоопасности на территории Кишертского района (табл. 1). Кроме того, значения этих наиболее карстоопасных интервалов практически совпадают со значениями аналогичных показателей для карстоопасных участков территории Кунгурского района и Полазненского полуострова, территорий развития сульфатно-карбонатного карста. Учитывая, что указанные в таблице показатели в их количественных выражениях являются общими не только для с. Усть-Кишерть, но и для других территорий, эти показатели рекомендуются к использованию в региональном плане, в пределах иных территорий развития сульфатно-карбонатного карста Предуралья.

Таблица 1 - Прогнозные геологические показатели карстовой опасности на территории развития сульфатно-карбонатного карста

Показатель	Кишертский район	Полазненский п-ов	Кунгурский район
Мощность четвертичных отложений, м	10-20 м	5-20	5-25
Мощность неоген-четвертичных отложений, м	менее 10-30 м	менее 10-30	менее 20
Суммарная мощность перекрывающих отложений, м	10-30 м	10-40	10-35
Глубина залегания вод иренского горизонта, м	30-60		20-40
Средняя минерализация вод иренского горизонта, г/дм ³	2-3	2-4	2-6
Гидрохимическая фация подземных вод иренских отложений (по Г.А. Максимовичу)	SO ₄ -Ca-HCO ₃	SO ₄ -Ca	SO ₄ -Ca-HCO ₃

Список литературы

1. Горбунова К.А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г. Карст и пещеры Пермской области. – Пермь : Изд-во Перм. ун-та, 1992. - 200 с.
2. Катаев В.Н. Методология и практика сравнительно-оценочного карстологического районирования : учебное пособие по спецкурсу / Перм. ун-т. – Пермь, 2001. – 85 с.
3. Катаев В.Н., Лихая О.М., Ковалёва Т.Г. Комплекс геологических показателей активности карста в пределах с. Усть-Кишерть и на прилегающей территории // Гидрогеология и карстование : межвуз. сб. науч. тр. / Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2010. – Вып. 17. – С. 61-71.
4. Катаев В.Н., Ковалёва Т.Г. Роль экспертной оценки в карстологическом прогнозе // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8 (Ч. 5). – С. 1130-1135. - URL: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10001306 (дата обращения: 04.10.2013).
5. Шимановский Л.А., Шимановская И.А. Пресные подземные воды Пермской области. – Пермь : Перм. книжное изд-во, 1973. - 197 с.

Рецензенты:

Наумова О.Б., д.г.-м.н., профессор, зав. кафедрой поисков и разведки полезных ископаемых ПГНИУ, г. Пермь.

Кудряшов А.И., д.г.-м.н., профессор, директор ООО «Научно-производственная фирма «ГЕОПРОГНОЗ»», г. Пермь.