

УДК 624.131.1

РОЛЬ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ В КАРСТОЛОГИЧЕСКОМ ПРОГНОЗЕ**Катаев В.Н., Ковалёва Т.Г.***ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»,
Пермь, e-mail: kataev@psu.ru, kovalevatg@mail.ru*

В пределах различных геологических условий закономерности развития и распределения поверхностных и подземных форм карста, а, следовательно, и карстологический прогноз обладают специфическими чертами. 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. Авторами в качестве примера для одной из территорий классического развития сульфатно-карбонатного карста в Предуралье определены интервалы значений показателей оптимальных геолого-гидрогеологических обстановок возникновения и развития карстовых форм, которые могут быть использованы на начальных этапах карстологического прогноза.

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

ROLE OF THE EXPERT ESTIMATION IN THE KARST FORECAST**Kataev V.N., Kovaleva T.G.***Perm State National Research University, Perm, e-mail: kataev@psu.ru, kovalevatg@mail.ru*

Within the limits of the various geological conditions development and distribution of surface and underground karst forms and consequently, karst forecast possess specific features. 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. Authors, as an example, for territory of classical development of sulfate-carbonate karst in Preduralie the intervals of values of parameters optimum geological-hydrogeological conditions occurrence and developments of karst forms which can be used at the initial stages of the karstologic forecast are certain.

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

Анализ чрезвычайных ситуаций, зафиксированных на территории Пермского края в период с 1998 по 2012 гг. [2], свидетельствует о том, что даже на хорошо изученных территориях применяемые прогнозные мероприятия не всегда эффективны. Ярким примером является территория г. Кунгур, где в 2006 году было зарегистрировано 19, в 2007 г. – 23, в 2008 г. – 10, в 2009 г. – 18, а в 2010 г. – 5, в 2011 г. – 2 карстовых провалов поверхности в непосредственной близости от жилых домов и промышленных объектов. При этом поперечные размеры некоторых провалов достигали 15 м, а их глубина – до 25 м. Провалообразование на территории города продолжается и до сих пор, но с меньшей интенсивностью, чем в 2007 г., например, в 2012 г. на территории города Кунгура зафиксировано 12 карстовых провалов. Провалы, в первую очередь, представляют реальную угрозу безопасности населения и во вторую – эксплуатационной сохранности инженерных объектов. Очевидно, что в пределах каждой конкретной разновидности геологической обстановки закономерности развития и распределения карста, а следовательно, и карстологический прогноз обладают специфическими чертами.

Основы экспертной оценки карстологических условий

Отечественная и зарубежная практика карстологического прогноза и оценки карстоопасности территории в частности, свидетельствует о том, что на современном этапе развития инженерного карстования общегеологическая основа оценки закарстованных территорий часто игнорируется или используется в сокращенном, наиболее общем виде, без должного учета особенностей инженерно-геологических и геотехнических условий развития карстового процесса и его проявлений в основании сооружений. Более того, ошибки в прогнозе часто связаны с недостаточным знанием специфики карстового процесса в конкретных природно-техногенных условиях, что в свою очередь может привести к ошибкам в выборе эффективных противокарстовых мероприятий. Таким образом, возникает 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 под влиянием особенностей геолого-гидрогеологического строения карстующегося массива.

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* [3]. Для проведения подобного прогноза необходим анализ баз геологических, карстологических и иных, например, геоморфологических данных, выполняемый в целях выявления закономерностей пространственного соотношения показателей состояния геолого-гидрогеологической среды и закартированных поверхностных и подземных карстопроявлений. Экспертная оценка качественных и количественных показателей состояния геологической среды исследуемой территории и выявление оптимальных параметров возникновения и развития карстовых форм является неотъ-

емлемой частью аналитической процедуры баз данных. Экспертная оценка в итоге подразумевает выделение в составе всей совокупности признаков-факторов, влияющих на распределение карстовых форм, трех интервалов соответствующих показателей, выраженных в количественной форме – «опасного», «условно опасного» и «неопасного». Границы между интервалами устанавливаются по резкому уменьшению (увеличению), например, количества карстопроявлений (или их размеров) на гистограммах частоты встречаемости соответственно значениям конкретного показателя строения территории (рис. 1, 2). В пределы опасного интервала «попадает» наибольшее количество карстопроявлений (или карстопроявлений с максимальными морфометрическими показателями). В случае нескольких максимумов встречаемости карстовых форм по значениям исследуемого показателя (неоднородность распределения) может быть выделено два и более опасных интервалов значений [6, 8].

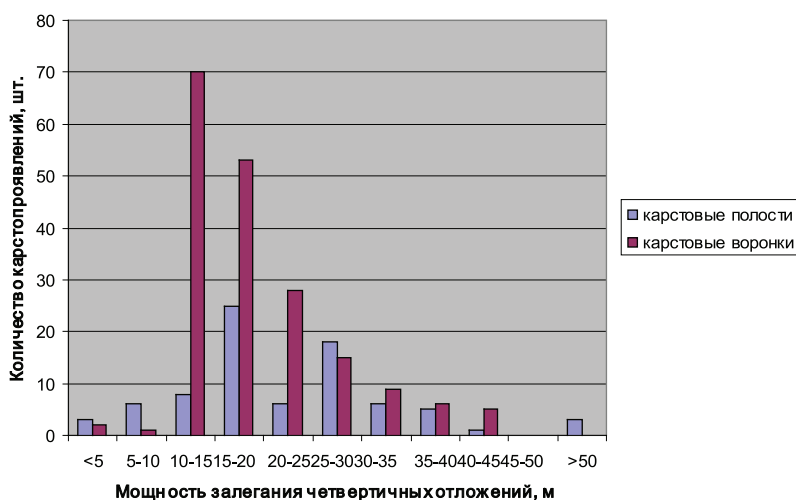


Рис. 1. Частота встречаемости карстовых форм в пределах территорий с различными мощностями четвертичных отложений на территории с. Усть-Кишерть (Предуралье)

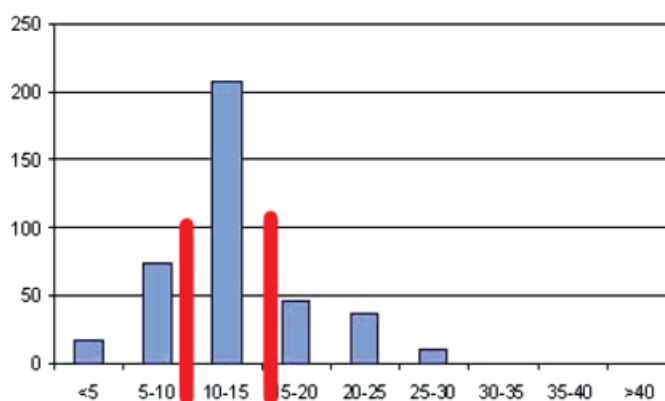


Рис. 2. Экспертное выделение опасных и неопасных интервалов исследуемых показателей

Результаты экспертной оценки территории г. Кунгур

В качестве примера экспертного выделения обстановок наиболее вероятного развития и проявления карстовых деформаций, основанных на анализе количественных показателей геолого-гидрогеологического строения карстовых массивов, приведем результаты подобного анализа для одной из территорий классического развития сульфатно-карбонатного карста в Предуралье. Объектом исследования был выбран интенсивно закарстованный массив сульфатно-карбонатных горных пород в пределах территории г. Кунгур Пермского края. Территория города расположена на востоке Восточно-Европейской равнины и входит в состав денудационной равнины Среднего Предуралья, в которой выделяются Сылвинско-Иренская наклонно-карстовая низина и Уфимский вал [7]. В соответствии с карстологическим районированием Пермской области территория города относится к Кунгурскому карстовому участку Нижнесылвенского района гипсового и карбонатно-гипсового карста [1]. В строении осадочного чехла территории г. Кунгур принимают участие породы пермской, неогеновой и четверичной систем. В составе пермской системы наибольшее распространение имеют породы артинского и кунгурского ярусов нижнего отдела. Кунгурский ярус представлен филипповским и иренским горизонтами. Иренский горизонт в своем полном составе включает семь чередующихся пачек, четыре из которых являются сульфатными и три – карбонатными. Сульфатные породы (гипсы и ангидриты, мощностью от 25 до 90 м) интенсивно закарстованы, их характерной чертой является наличие многочисленных пустот крупных размеров, а карбонатные (известняки и доломиты, мощностью от 50 до 80 м) являются относительно водоупором. В гидрогеологическом отношении г. Кунгур входит в провинцию подземных вод восточной окраины Восточно-Европейской платформы и относится к гидрогеологической области карстовых вод Уфимского плато. Подземные воды приурочены к четвертичным аллювиальным песчано-галечным и суглинистым отложениям, иренским карбонатно-сульфатным и артинско-филипповским карбонатным образованиям пермского возраста. Отсутствие региональных водоупоров и наличие интенсивной трещиноватости коренных отложений способствуют гидравлической связи подземных вод водоносных горизонтов. Различный литологический состав водовмещающих пород обуславливает различную динамику и химический состав как грунтовых, так и карстовых вод [7].

Город довольно хорошо изучен инженерно-геологическими изысканиями (пробурено порядка 3,5 тыс. скважин, более 100 из которых карстологические) и многочисленными научными исследованиями, вместе с тем вопрос оценки и прогноза активности карстового процесса для г. Кунгура остается актуальным [5]. Здесь чрезвычайно широко распространены поверхностные и подземные карстовые формы: режимными наблюдениями зафиксировано 518 карстовых провалов, 408 карстовых воронок; скважинами вскрыто 509 полостей.

Распределение карстовых форм по территории города весьма неоднородное, на одних участках плотность форм высокая, на других они практически отсутствуют, что во многом объясняется особенностями геологического строения (рис. 3) [8].

По результатам буровых работ на территории г. Кунгур, выделено 7 типов сочетания карстующихся и перекрывающих отложений различного состава и генезиса [4]:

I тип геологического разреза занимает площадь 0,23 км² и представлен сульфатными отложениями иренского горизонта, выходящими на поверхность или перекрытыми маломощным почвенным слоем. В пределах данного типа зафиксировано 15 карстовых воронок и 7 провалов, полости скважинами не вскрыты.

II тип сложен карбонатными отложениями филипповского горизонта, перекрытыми четвертичными аллювиально-делювиальными отложениями, распространен на площади 1,14 км². В его пределах карстопоявлений не зафиксировано.

III тип – сульфатные отложения иренского горизонта перекрыты четвертичными аллювиально-делювиальными отложениями, занимает площадь 0,02 км². Здесь скважинами вскрыто 2 карстовых полости.

IV тип, представленный переслаивающимися сульфатно-карбонатными отложениями иренского горизонта, перекрытыми четвертичными аллювиально-делювиальными отложениями, распространен на площади 1,29 км². Карстопоявления здесь представлены 34 воронками, 10 провалами, скважинами вскрыто 32 полости.

V тип – переслаивающиеся сульфатно-карбонатные отложения иренского горизонта перекрыты обвално-карстовыми отложениями неоген-четвертичного возраста, которые в свою очередь покрыты четвертичными аллювиально-делювиальными отложениями. Занимает более 60% территории города (24,31 км²). Большинство карстопоявлений приурочено именно к данному типу геологического разреза: 336 воронок, 318 провалов, 416 полостей.

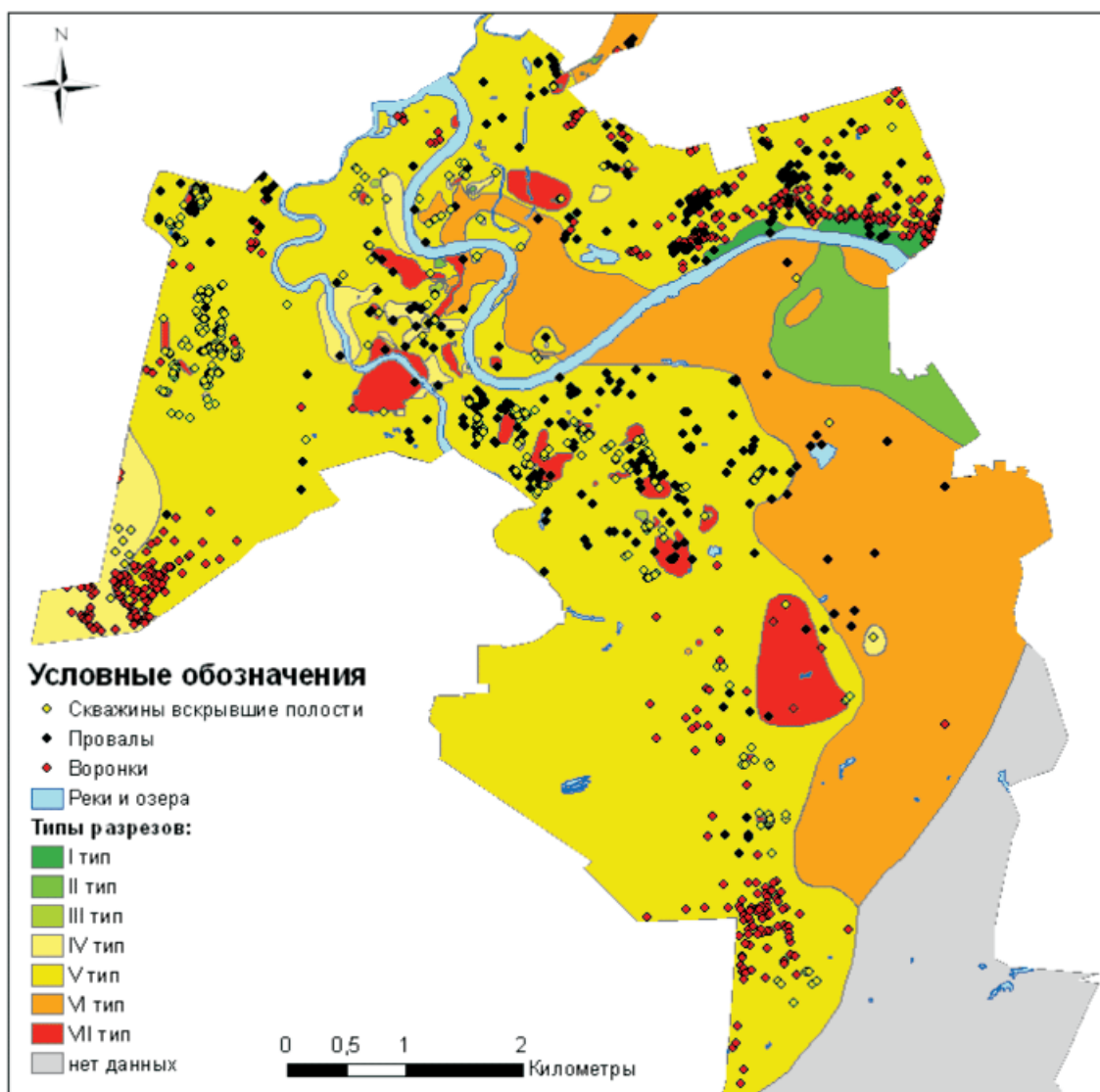


Рис. 3. Распространение типов геологического разреза и карстовых форм в пределах северной части территории г. Кунгур

VI тип сложен карбонатными отложениями филипповского горизонта, перекрытыми обвальными-карстовыми отложениями неоген-четвертичного возраста, которые в свою очередь покрыты четвертичными аллювиально-делювиальными отложениями. Занимает площадь 9,55 км². В его пределах зафиксировано 14 воронок, 22 провала и 2 полости.

VII тип развит на площади 1,60 км² и представлен сульфатными отложениями иренского горизонта, перекрытыми обвальными-карстовыми отложениями неоген-четвертичного возраста, которые в свою очередь покрыты четвертичными аллювиально-делювиальными отложениями. В его пределах зафиксировано 2 воронки, 35 провалов, 56 полостей.

При прогнозе активности карстового процесса необходимо использовать комплекс показателей, который бы отражал все особенности геолого-гидрогеологического строения наиболее карстоопасных участков. Выделение такого комплекса производится с учетом размеров и характера распределения поверхностных и подземных карстопроявлений, причем необходимо учитывать не только количество карстовых форм, но и морфометрические характеристики, поскольку их возникновение может быть единичным, но носить катастрофический характер. Обоснование необходимости использования подобного комплекса показателей для всей территории г. Кунгур в общем, без учета типа геологического разреза было произведено авторами ранее [4, 8].

Рекомендуемая к использованию на начальных этапах карстологического прогноза экспертная оценка подразумевает изменение показателей при изменении масштаба исследований. Она основана на выделении опасных интервалов значений показателей внутри участков, сложенных разными типами разреза. В табл. 1 приве-

дены результаты анализа геолого-карстологических баз данных, представленные в виде интервалов значений показателей геолого-гидрогеологического строения тех участков, где было зафиксировано наибольшее количество карстовых форм и форм с относительно максимальными размерами.

Таблица 1
Опасные интервалы значений прогнозных показателей для территории г. Кунгур

Показатель	Обобщенные показатели по территории г. Кунгур	Показатели по типам геологического разреза					
		I	III	IV	V	VI	VII
Мощность четвертичных отложений, м	5–25	< 5	10–15	20–25	10–15	10–15	5–15
Мощность неоген-четвертичных отложений, м	< 20	< 5	< 5	–	до 20	до 15	5–10
Мощность перекрывающих отложений, м	10–35	< 5	10–15	15–30	15–25	до 35	15–35
Абс. отм. залегания кровли иренских отложений, м	100–130 140–170	100–150	100–140	160–170	110–160	–	120–150
Абс. отм. залегания вод четвертичного аллювиально-делювиального комплекса, м	110–180	–	< 110; 140–150	> 190	160–180	110–130	130–150
Абс. отм. залегания вод неоген-четвертичных обвального-карстовых отложений, м	110–130	–	–	–	110–120	110–120	110–120
Абс. отм. залегания подземных вод иренских отложений, м	105–125	–	90–95; 110–115	115–120	110–120	–	110–115
Глубина залегания вод четвертичного аллювиально-делювиального комплекса, м	2–8	6–8	4–6; 8–10	2–4	2–8	6–8	2–8
Глубина залегания вод неоген-четвертичных обвального-карстовых отложений, м	10–40	–	–	–	10–30	10–20	20–30
Глубина залегания подземных вод иренских отложений, м	20–40, > 70	–	20–40	> 70	20–40	–	20–40
Средняя минерализация вод иренского горизонта, г/дм ³	2–6	–	2–4	2–8	2–4	–	2–4
Гидрохимическая фация подземных вод иренских отложений (по Г.А. Максимовичу)	SO ₄ -Ca-HCO ₃	–	–	SO ₄ -Ca-HCO ₃	SO ₄ -Ca-HCO ₃	–	SO ₄ -Ca-HCO ₃

Выводы

Данные, приведенные в таблице, свидетельствуют о том, что некоторые показатели являются общими для данной территории и характеризуются относительно равными значениями карстоопасных интервалов вне зависимости от типа разреза. Например, участки, характеризующиеся мощностью четвертичных отложений от 5

до 25 м, мощностью неоген-четвертичных обвального-карстовых отложений менее 20 м, мощностью всей толщи перекрывающих отложений от 10 до 35 м, средней минерализацией вод иренских отложений в пределах от 2 до 6 г/дм³, сульфатно-кальциево-гидрокарбонатной гидрохимической фацией вод иренского горизонта являются наиболее карстоопасными независимо от того, к ка-

кому типу геологического разреза этот участок относится.

Учитывая, что перечисленные показатели в их количественных выражениях являются общими для всей территории города, а тип геологического разреза не является ограничивающим фактором, эти показатели рекомендуются к использованию в региональном плане, в пределах иных территорий развития сульфатно-карбонатного карста Предуралья.

Данные рекомендации обоснованы тем, что значения общих показателей, определяющих активность развития карста для территории г. Кунгура, идентичны значениям тех же показателей для других территорий развития сульфатно-карбонатного карста Предуралья, например, таких как Полазненский и Кишертский районы развития преимущественно гипсового и карбонатно-гипсового карста (табл. 2).

Таблица 2

Опасные интервалы значений прогнозных показателей для территории Полазненского полуострова и Кишертского района Пермского края

Показатель	Полазненский полуостров	Кишертский район
Мощность четвертичных отложений, м	5–20	10–20
Мощность неоген-четвертичных отложений, м	менее 10–30	менее 10–30
Мощность перекрывающих отложений, м	10–40	10–30
Средняя минерализация вод иренского горизонта, г/дм ³	2–4	2–3
Гидрохимическая фация подземных вод иренских отложений (по Г.А. Максимовичу)	SO ₄ -Ca	SO ₄ -Ca-HCO ₃

Помимо показателей «общего» назначения выделяются показатели, условно названные «частные», характерные только для данного типа геолого-гидрогеологического строения анализируемого участка и обуславливающие различную степень активности проявления карстового процесса. В приведенном примере это в основном показатели, характеризующие гидрогеологическую ситуацию, в частности, глубины залегания вод различных водоносных горизонтов. Использование таких показателей позволит детализировать карстологическую ситуацию на локальном уровне исследований. Количество частных показателей может варьироваться в зависимости от их значимости применительно к конкретному участку с конкретным строением, характера решаемой задачи, типа исследуемой территории. Другими словами, набор показателей, приведенный в табл. 1, может быть изменен – дополнен или сокращен.

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. Долгосрочный прогноз ЧС на 2013 год [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://gkugz.perm.ru/news/view/2386> (дата обращения 14/03/2013).
3. Катаев В.Н. Методология и практика сравнительно-оценочного карстологического районирования: учебное пособие по спецкурсу. – Пермь: Перм. ун-т, 2001. – 85 с.
4. Катаев В.Н., Щербakov С.В., Золотарев Д.С., Лихая О.М., Ковалева Т.Г. Влияние геологического строения территории на распределение карстовых форм (на примере территории г. Кунгура) // Вестник Пермского университета. Научный журнал. Вып. 3 Геология. – Пермь: Изд-во Пермск. ун-та, 2009. – С. 77–93.
5. Катаев В.Н. Геология и карст города Кунгура: монография / В.Н. Катаев, О.И. Кадебская; Перм. гос. ун-т; ГИ УрО РАН. – Пермь, 2010. – 249 с.: ил.

6. Катаев В.Н. Основы создания системы мониторинга закарстованных территорий (на примере Пермского края) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. Научный журнал. № 1. – М.: Академиздатцентр «Наука», 2013. – С. 25–41.
7. Лукин В.С., Ежов Ю.А. Карст и строительство в районе г. Кунгура. – Пермь: Перм. кн. изд-во, 1975. – 118 с.
8. Щербakov С.В., Катаев В.Н. Интегральная оценка карстоопасности урбанизированных территорий (на примере г.Кунгура) // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2011. – Т. 153, кн. 1. – С. 203–224.

References

1. Gorbunova K.A., Andrejchuk V.N., Kostarev V.P., Maksimovich N.G. *Karst i peshhery Permskoj oblasti*. Perm', 1992. 200 p.
2. *Dolgosrochnyj prognoz ChS na 2013 god*, Available at: <http://gkugz.perm.ru/news/view/2386> (accessed 14 march 2013).
3. Kataev V.N. *Metodologija i praktika sravnitel'no-ocenochного karstologicheskogo rajonirovanija*, Perm': Perm. Univ., 2001. 85 p.
4. Kataev V.N., Sherbakov S.V., Zolotarev D.S., Lihaja O.M., Kovaleva T.G. *Vestnik Permskogo universiteta. Geology*, 2009, no. 3, pp. 77–93.
5. Kataev V.N., Kadebskaja O.I. *Geologija i karst goroda Kungura*. Perm', Perm. gos. un-t; GI UrO RAN., 2010. 249 p.
6. Kataev V.N. *Geojekologija. Inzhenernaja geologija. Hidrogeologija. Geokriologija.*, 2013, no.1, pp. 25–41.
7. Lukin V.S., Ezhov Ju.A. *Karst i stroitel'stvo v rajone g.Kungura*. Perm': Perm. kn. izd-vo, 1975. 118 p.
8. Sherbakov S.V., Kataev V.N. *Uchen. zap. Kazan. un-ta. Ser. Estestv. nauki.*, 2011, T. 153, kn. 1, pp. 203–224.

Рецензенты:

Кудряшов А.И., д.г.-м.н., профессор, директор ООО «Научно-производственная фирма «ГЕОПРОГНОЗ», г. Пермь;
 Назаров Н.Н., д.г.н., профессор, заведующий кафедрой физической географии и ландшафтной экологии, ПГНИУ, г. Пермь.
 Работа поступила в редакцию 15.07.2013.