

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ, МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ И ГРУНТОВЕДЕНИЕ

УДК 556.314; 624.131.1

Оценка карстоопасности территории г. Кунгура на основе общегеологического подхода

Т.Г. Ковалёва

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Пермь, ул. Букирева, 15. E-mail: kovalevatg@mail.ru

(Статья поступила в редакцию 31 октября 2016 г.)

Представлены результаты оценки карстоопасности территории г. Кунгура, где широко развит карбонатно-сульфатный тип карста, на основе общегеологического подхода, т.е. анализе влияния геологического строения и гидрогеологических условий карстового массива на распределение форм поверхностного и подземного карста. Методические разработки базируются в первую очередь на доступности получения качественных и количественных характеристик геолого-гидрогеологического строения, необходимых для прогноза. Полученный картографический материал сравнён с результатами оценки карстоопасности по нормативной методике.

Ключевые слова: *карст, карстовый массив, карстовые формы, карстоопасность.*

DOI: 10.17072/psu.geol.33.26

Введение

В современных условиях развития инженерного карстоведения и освоения закарстованных территорий общегеологическая основа оценки карстоопасности зачастую используется в сокращенном, обобщенном виде и не учитывает особенностей инженерно-геологических условий развития карстового процесса. Ошибки в прогнозе карстовой опасности практически всегда вызывают экономические потери из-за необоснованно завышенных требований к конструктивным мерам безопасности, либо, наоборот, из-за недостаточности принятых противокарстовых мероприятий, а также необоснованного отказа от использования для строительства той или иной территории [4, 7]. Об-

щегеологический подход является традиционным для пермской школы геологов-карстоведов и инженеров-геологов на всем протяжении её развития – от середины 30-х гг. прошлого столетия до сегодняшних дней. Он расширяет возможности карстологического прогноза в целом на основе углубленного анализа влияния геологического строения и гидрогеологических условий и факторов на распределение форм поверхностного и подземного карста. Методически такой подход основан в первую очередь на доступности получения качественных и количественных характеристик геологического строения и гидрогеологических условий, необходимых для прогноза. В любых технических отчетах об инженерно-геологических изысканиях есть данные, необходимые и

достаточные для оценки карстоопасности на основе общегеологического подхода. Данный подход целесообразно использовать на начальных этапах карстологической оценки территорий.

Выбор г. Кунгура в качестве «пилотной» территории для апробации методики не случаен. Карстовый процесс в его многообразии геологических, гидрогеологических, геоморфологических и иных проявлений, в его потенциальной катастрофичности давно стал для территории г. Кунгура и прилегающих районов неотъемлемой составляющей природных особенностей и достопримечательностей. Территория г. Кунгура всеми специалистами-карстооведами рассматривается как территория классического развития сульфатно-карбонатного карста. Систематическое изучение карста этой территории началось с конца 50-х гг. прошлого века, в настоящее время условия развития карста изучены с большой степенью детальности, большая заслуга в этом принадлежит Кунгурской лаборатории-станции Горного института УрО РАН. На территории города в ходе многочисленных инженерно-геологических изысканий было пройдено порядка четырех тысяч горных выработок, проведено более трех тысяч испытаний на определение физико-механических и водных свойств грунтов и более тысячи определений химического состава природных вод. На основании этого созданы специализированные электронные базы данных, отражающие особенности геолого-литологического и гидрогеологического строения территории, а также обширные каталоги поверхностных и подземных карстопоявлений, включающие подробное морфометрическое и морфологическое описание форм [6].

Собранный в течение многих лет обширный и разнообразный исходный материал позволяет рассмотреть процесс развития сульфатно-карбонатного карста на территории г. Кунгура всесторонне и детально. На территории Пермского края есть и другие населённые пункты, такие как п. Полазна, с. Усть-Кишерть, п. Сук-

сун, в пределах которых также развит сульфатно-карбонатный тип карста. Однако ни одна из этих территорий не была изучена так подробно и не характеризуется таким объемом исходной информации. Закономерности, выявленные на «пилотной» территории, использованы и апробированы автором и на других участках проявления сульфатно-карбонатного карста с учетом их локальных особенностей, это территории п. Полазна и с. Усть-Кишерть.

Краткая характеристика условий и факторов развития карста

Территория г. Кунгура находится в сложных структурно-тектонических и геолого-гидрогеологических условиях восточной окраины Восточно-Европейской платформы, приурочена к западному крылу Уфимского вала. На исследуемой территории распространены породы кунгурского яруса приуральского отдела пермской системы (P_{1k}), который стратиграфически разделен на филипповский ($P_{1k_{ph}}$) и иренский ($P_{1k_{ir}}$) горизонты. Отложения иренского горизонта на исследуемой территории представлены тремя сульфатными и двумя карбонатными пачками.

По результатам буровых работ на территории г. Кунгура выделено 7 базовых типов сочетания карстующихся и перекрывающих отложений различного состава и генезиса (рис. 1).

Наиболее закарстованные участки характеризуются наличием в разрезе сульфатно-карбонатных пород иренского горизонта, перекрытых неоген-четвертичными и четвертичными рыхлыми отложениями (V геологический тип разреза). На территории г. Кунгура зафиксировано порядка 400 карстовых провалов и почти столько же карстовых воронок, буровыми скважинами вскрыто 509 карстовых полостей.

Большинство карстовых форм приурочено к V типу геологического разреза, на территории распространения этого же ти-

па зафиксированы наибольшие размеры поверхностных карстовых форм.

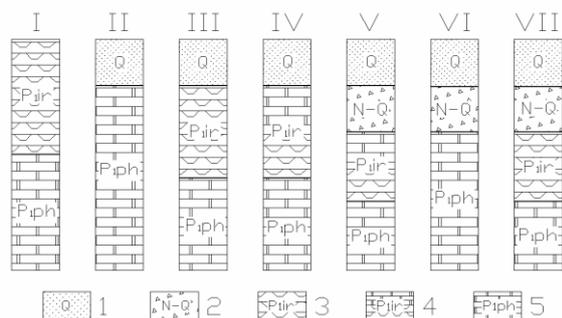


Рис. 1. Типы геологического разреза, выделенные на территории г. Кунгура [3]: 1 – аллювиально-делювиальные отложения четвертичного возраста; 2 – обвально-карстовые отложения неоген-четвертичного возраста; 3 – сульфатные отложения иренского горизонта; 4 – сульфатно-карбонатные отложения иренского горизонта; 5 – карбонатные отложения филипповского горизонта

Необходимо заметить, что если рассматривать плотность карстовых форм по типам геологического разреза, то она высокая, например, на территории I и III типов, однако данный параметр, по мнению автора не демонстрирует карстоопасность, поскольку территории, занятые этими типами, очень малы, карстовые формы, зафиксированные в их пределах, единичны, и достоверно судить о том, как бы шел процесс карстообразования на больших площадях с аналогичным геологическим разрезом, не представляется возможным.

Гидрогеологическая ситуация на территории г. Кунгура тоже сложная. Подземные воды приурочены к четвертичным аллювиальным песчано-галечным и суглинистым отложениям, иренским карбонатно-сульфатным и артинско-филипповским карбонатным образованиям пермского возраста. Отсутствие региональных водоупоров, развитые системы трещин, пересекающих массив и подземные карстовые формы способствуют гидравлической связи подземных вод. Различная степень проницаемости и различный литологический состав водовмещающих пород обуславливают разную гид-

родинамику и химический состав как грунтовых, так и трещинно-карстовых вод [1, 2]. В последние годы наблюдается тенденция опреснения подземных вод иренского горизонта, что повышает их агрессивность в отношении карстующихся пород. Фоновое значение минерализации подземных вод иренских отложений составляет 2-4 г/дм³, фоновая гидрохимическая фация (по Г.А. Максимовичу) – сульфатно-кальциево-гидрокарбонатная.

Общая характеристика карстовых явлений

На исследуемой территории развиты как поверхностные, так и подземные карстовые формы. Первые представлены карстово-суффозионными деформациями поверхности, выраженными в рельефе двумя морфологическими типами: провалами и воронками. В пределах городской черты обнаружены, зафиксированы и описаны 393 карстовых провала. Большинство провалов (143) на застроенной территории г. Кунгура приурочено к площадям распространения третьих надпойменных террас рек Сылвы и Ирени. Линейные размеры зафиксированных карстовых провалов изменяются от 0.1 до 20.0 м. Большая часть этих форм имеет радиус менее 2.5 м (249). Глубина провалов изменяется от первых десятков сантиметров до 13 м, но большая часть имеет глубину не более 1 м (184). Провальные деформации были сформированы в различных литологических типах покровных отложений: суглинках, карстово-обвальных, техногенных суглинистых грунтах.

Зафиксировано 408 карстовых воронок, абсолютное большинство которых распространено в пределах высоких террас (359). Площадь воронок изменяется от 11.5 до 1000.0 м² и в среднем составляет 239.5 м². Суммарная площадь, занятая воронками на территории г. Кунгура, равна 97731.0 м². Наиболее крупные воронки приурочены к высоким террасам рек Сылвы и Ирени.

Вскрытые бурением подземные карстовые формы в основном представлены полостями различных размеров и различной степени заполнения [10]. Из почти 4 тыс. пробуренных скважин 297 вскрыли 483 карстовые полости, из них 345 заполнены различными терригенными отложениями, остальные 138 – не заполнены. Большинство полостей (479) образовано в карбонатно-сульфатных породах иренского горизонта кунгурского яруса нижней перми. Морфометрические параметры (вертикальная мощность) встреченных подземных полостей изменяются от 0.1 до 17.8 м при средней величине 2.2 м. Большая часть карстовых пустот (163) имеет вертикальную мощность менее 1.0 м. Обнаружено 11 полостей с размером более 10 м. Глубина вскрытия полостей изменяется от 10.0 до 88.2 м (средняя 34.5 м). Преобладающее количество карстовых полостей находится в интервале глубин 20.0–40.0 м (308).

Наиболее закарстованные участки характерны для сульфатно-карбонатных пород иренского горизонта, перекрытых неоген-четвертичными и четвертичными рыхлыми отложениями (геологический тип разреза V).

Оценка влияния геолого-гидрогеологических факторов на пространственное распределение и параметры поверхностных и подземных карстовых форм

На необходимость учета особенностей геологического строения и гидрогеологических условий территории при прогнозных построениях в разное время указывали отечественные и зарубежные ученые [8, 9, 11]. При прогнозе активности карстового процесса необходимо использовать комплекс показателей, который бы отражал все особенности геолого-гидрогеологического строения наиболее карстоопасных участков, характер распределения поверхностных и подземных карстопоявлений и их размеры. Необходи-

мость учета морфометрических характеристик определяется тем, что деформация поверхности может быть единичной, но параметры возникшего провала могут катастрофически повлиять на наземные или подземные инженерные объекты.

При выделении комплекса прогнозных показателей анализировались участки территории г. Кунгура, имеющие разные типы геологического разреза, территории с. Усть-Кишерть и п. Полазна.

Автором выделены две группы показателей: региональные и локальные (или частные). К группе региональных отнесены показатели, карстоопасные значения которых характерны для всех типов геологического строения в условиях карбонатно-сульфатного карста Предуралья. Эти показатели выделены на территории г. Кунгура, с. Усть-Кишерть, п. Полазна и рекомендованы к использованию при региональных исследованиях (табл. 1).

Частные показатели характерны только для данного типа геолого-гидрогеологического строения анализируемого участка и обуславливают различную степень активности карстового процесса. Использование таких показателей позволяет детализировать карстологическую ситуацию на локальном уровне исследований. Количество частных показателей может варьировать в зависимости от их значимости применительно к конкретному участку с конкретным строением, характера решаемой задачи, типа исследуемой территории (табл. 2).

Принципы оценки карстоопасности на основе общегеологического подхода

Разные территории обладают разнообразным набором геолого-гидрогеологической информации, из которого на основе анализа баз данных и картографического материала на первом этапе оценки карстоопасности необходимо выбрать существенные показатели, которые влияют на интенсивность процесса. На следующем этапе анализируются выбранные показатели и выделяются наиболее карстоопас-

ные интервалы их значений для отдельных участков территорий, имеющих раз- личное геолого-гидрогеологическое строение.

Таблица 1. Карстоопасные интервалы региональных показателей-признаков для территорий развития карбонатно-сульфатного карста

Показатель-признак	г. Кунгур	п. Полазна	с. Усть-Кишерть	Общее для карбонатно-сульфатного карста
Мощность четвертичных отложений, м	До 20	5 – 20	10 – 20	До 25
Мощность неоген-четвертичных отложений, м	До 20	10 – 30	До 30	До 30
Суммарная мощность покровных отложений, м	До 40	10 – 40	10 – 40	До 40
Мощность иренского горизонта, м	25 – 45	–	30 – 60	Более 25
Глубина залегания уровня вод четвертичных отложений, м	4 – 8	1 – 3	До 10	До 10
Глубина залегания уровня вод обвального-карстовых неоген-четвертичных отложений, м	До 30	15 – 30	20 – 30	До 30
Глубина залегания уровня вод иренских отложений, м	20 – 40	50 – 65	25 – 30	20 – 65
Минерализация вод иренского горизонта, г/дм ³	2 – 6	2 – 4	1 – 3	1 – 4
Гидрохимическая фация вод иренского горизонта	Смешение фаций	Смешение фаций	Смешение фаций	Смешение фаций

Анализ геолого-гидрогеологических условий развития карста по разным типам геологического разреза в пределах территории г. Кунгура на основе учета как качественных, так и количественных показателей, позволил определить наиболее карстоопасные интервалы значений показателей-признаков (табл. 1, 2).

Для визуализации результатов оценки в виде картографической модели автором использован балльный метод. Необходимо отметить, что построение балльных шкал является процессом, зависящим от мнения исследователя. Поскольку влияние каждого из факторов в разных точках рассматриваемой территории может быть различным и точно определить, какой показатель является преобладающим при активизации карстового процесса, достаточно сложно, можно использовать упрощенный вариант балльной оценки без по-

строения иерархии, все показатели рассматриваются как равнозначные, каждому показателю присвоено максимальное количество баллов – 10. Соответственно в пределах одного показателя число баллов, присвоенное определенным интервалам его значений, будет изменяться от 0 (наименее карстоопасный интервал значений показателя) до 10 баллов (самый карстоопасный интервал значений показателя, для которого характерно наибольшее количество карстовых форм либо наибольшие морфометрические показатели карстовых форм, табл. 3). Всего выделено 11 показателей-признаков. Таким образом, максимальное количество баллов, которое может получить отдельный участок исследуемой территории, равно 110.

На следующем этапе оценки карстоопасности выполняется построение картографической модели с использованием

Таблица 2. Обобщенные карстоопасные интервалы частных показателей-признаков для территории г. Кунгура

Показатель-признак	Тип разреза по г. Кунгур					
	I	III	IV	V	VI	VII
Мощность четвертичных отложений, м	<5	10–15	20–25	10–15	10–15	5–15
Мощность неоген-четвертичных отложений, м	<5	<5	Нет	До 20	До 15	5–10
Мощность покровных отложений, м	<5	10–15	15–30	15–25	До 35	15–35
Мощность иренских отложений, м	10–15; 40 – 45	25–35	25–45	40–	–	30–45
Мощность неволинской пачки, м	0	0	До 15	0	–	0
Абс. отм. кровли иренского горизонта, м	100–150	100–140	160–170	110–160	–	120–150
Абс. отм. кровли филипповского горизонта, м	105–110	90–110	70–75	90–95	90–115	75–90
Глинистость покровной толщи, %	–	–	50–70	40–60	40–50	50–60
Гидроизобаты вод четвертичных отложений, м	6–8	4–6	До 6	До 8, 16–18	4–6	До 6
Гидроизобаты вод обваль-но-карстовых неоген-четвертичных отложений	–	–	–	До 30; более 70	10–20	До 30; более 70
Гидроизобаты вод иренских отложений, м	–	20–40	20–40 и более 70	20–60 и более 70	–	20–40
Минерализация вод иренского горизонта	–	2–4	2–8	До 6	До 2	2–6
Гидрохимическая фация вод иренского горизонта	–	–	Смеше- ние	–	Сме- шение	Сме- шение

Таблица 3. Карстоопасные и наименее карстоопасные значения показателей-признаков для г. Кунгура

Показатель-признак	Наиболее кар-стоопасные зна-чения	Наименее кар-стоопасные значения
Мощность четвертичных отложений, м	10–15	>40
Мощность неоген-четвертичных отложений, м	10–15	>45
Суммарная мощность покровных отложений, м	15–25	>75
Мощность иренских отложений, м	40–45	<5
Мощность неволинской пачки, м	0	15
Глинистость покровной толщи, %	50–60	>90
Глубина залегания вод четвертичных отложений, м	4–6; 16–18	14–16
Глубина залегания вод обваль-но-карстовых неоген-четвертичных отложений	20–30	60–70
Глубина залегания вод иренских отложений, м	30–40; >70	<10
Минерализация вод иренского горизонта, г/дм ³	<4	18–20
Гидрохимическая фация вод иренского горизонта	Участки смешения фаций	SO ₄ -Ca (как фоновое значение)

Таблица 4. Ранжирование баллов по категориям карстоопасности

Категория	Количество баллов	Цвет на картографической модели
I – весьма опасная	Более 85	Красный
II – опасная	66–85	Оранжевый
III – умеренно-опасная	46–65	Желтый
IV – потенциально-опасная	26–45	Светло-зеленый
V – практически неопасная	До 25	Темно-зеленый

соответствующего программного обеспечения. Автором для этих целей использован программный продукт ArcMap v.10. Следует отметить, что инженерно-геологическими и карстологическими исследованиями в максимальной степени охвачена северная часть г. Кунгура и, следовательно, все прогнозные построения

выполнены только для этой территории. Для проведения аналогии с категориями устойчивости по карстоопасности, принятыми нормативными документами, автором выделено пять категорий, соответствующих пяти цветам на картографической модели (рис. 2).

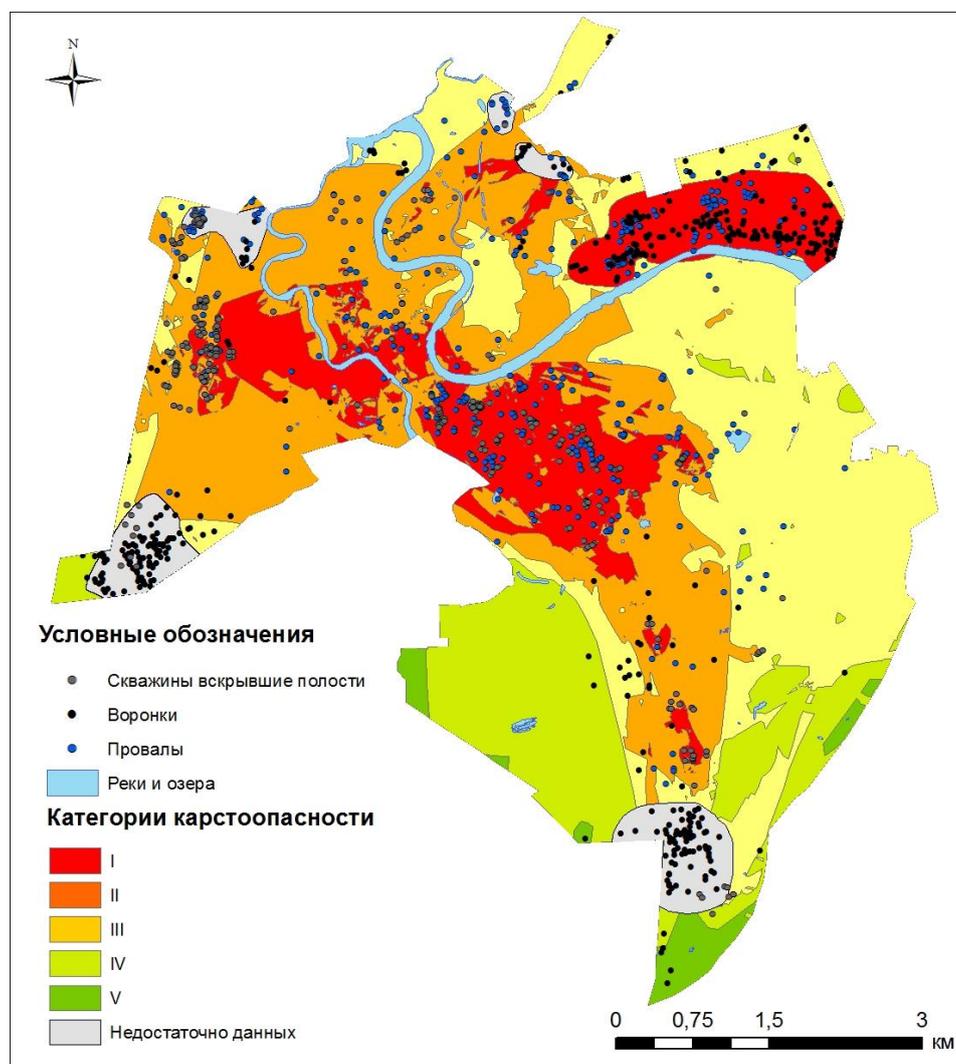


Рис. 2. Картографическая модель оценки карстоопасности северной части г. Кунгура

Ранжирование баллов по категориям карстоопасности, выделенным автором, приведено в табл. 4.

Сравнительный анализ результатов карстологического прогноза по методике автора и по нормативным методам для территории г. Кунгура выполнен с использованием материалов оценки карстоопасности данной территории ЗАО «ВерхнекамГИСИЗ» в 2008 г. Кроме того, сравнение проведено с картой, выполненной сотрудниками ПГНИУ с участием автора в рамках НИР по объекту «Мониторинг закарстованных территорий Пермской области».

При построении обеих карт применялись методики, закрепленные в нормативных документах. При визуальном сравнении всех картографических моделей установлены многие совпадения. Так, очень неустойчивые, наиболее карстоопасные участки выделены в микрорайоне Центральный, занимающем междуречье Ирены и Сылвы. Кроме того, отмечается и соответствие расположения участков с наименьшими категориями карстоопасности (в южной и юго-восточной частях северной территории города). Сравнение картографических моделей было проведено и для территории с. Усть-Кишерть [5], сходимость результатов хорошая.

Таким образом, сравнительный анализ результатов карстологического прогноза на основе изучения особенностей геологического строения и гидрогеологических условий карстовых массивов и результатов, полученных с применением нормативных методик, позволяют сделать вывод, что на начальных этапах карстологического прогноза модели, построенные по результатам оценки автора, оправдывают свое предназначение, поскольку дают представление о локализации наиболее карстоопасных участков и не требуют дорогостоящих исследований. Используя их, можно планировать детальные карстологические изыскания.

Выводы

В результате проведенных исследований предложена методика карстологического прогноза на урбанизированных территориях, развивающая общегеологический подход, основанная на учете геолого-гидрогеологического строения исследуемой территории. Разработаны основные принципы проведения оценки карстоопасности на ранних стадиях прогноза устойчивости территорий. В качестве «пилотной» территории выбрана территория г. Кунгура, для которой был проведен анализ природных условий с целью выявления их карстологической роли, а также характера пространственного распределения и морфометрических особенностей подземных и поверхностных карстопоявлений. На основе этого выделен комплекс признаков-факторов, их качественные и количественные характеристики, использование которых объективно и достаточно для начальных этапов прогнозных мероприятий. Комплекс включает 13 показателей, характеризующих активность карстового процесса на территориях развития карбонатно-сульфатного карста, однако не является закрытым, некоторые показатели могут быть удалены, а другие добавлены, исходя из имеющихся данных о геолого-гидрогеологическом строении исследуемой территории и ее особенностях.

Предложенный комплекс был реализован в картографической модели с помощью балльного метода, методика апробирована на территории г. Кунгура. Сравнительный анализ результатов разработанного методического подхода к оценке карстологической ситуации на начальных этапах с результатами ранее проведенных прогнозных построений с использованием нормативных требований к оценке карстоопасности как на территории г. Кунгура, так и на территории с. Усть-Кишерть, показали их высокую сходимость. Сравнение на уровне картографических моделей позволяет заключить, что на начальных этапах карстологического прогноза

разработанная методика оправдывает свое применение, поскольку дает представление о локализации наиболее карстопасных участков, не требует дорогостоящих исследований, а на основе ее результатов можно планировать карстологические изыскания с целью детализации ситуации.

Библиографический список

1. Горбунова К.А. Морфология и гидрогеология гипсового карста. Пермь, 1979. 95с.
2. Ежов Ю.А., Дорофеев Е.П., Лукин В.С. Наводнения в районе г. Кунгура (их причины, динамика, прогнозирование и меры борьбы с ними): препринт / УрО АН СССР Свердловск, 1990. 50 с.
3. Катаев В.Н., Кадебская О.И. Геология и карст города Кунгура: монография / Перм. гос. ун-т; ГИ УрО РАН. Пермь, 2010. 236 с.
4. Ковалёва Т.Г. Основные проблемы карстологического прогноза на урбанизированных территориях // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. URL:<http://www.science-education.ru/120-16143> (дата обращения: 13.12.2014).
5. Ковалёва Т.Г. Результаты оценки карстопасности территорий развития карбонатно-сульфатного карста на основе геолого-гидрогеологических факторов // Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах: материалы международного симпозиума / под ред. В.Н. Катаева, Д.Р. Золотарева, С.В. Щербакова, А.В. Шиловой; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2015. С. 173-176.
6. Ковалёва Т.Г. Геолого-гидрогеологические показатели особенностей строения карстовых участков территории г. Кунгур и распространенность карстовых форм // Инженерная геология и охрана недр: сб. науч. тр. Пермь, 2012. С. 97-101.
7. Ковалёва Т.Г., Катаев В.Н. Подземный рельеф карстующихся пород как индикатор пространственного распределения форм карста // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 4. URL: <http://www.science-education.ru/118-14415> (дата обращения: 25.08.2014).
8. Логинов Н.Х. Об устойчивости участков в районах сульфатного карста Предуралья // Вопросы инженерного карстоведения: тез. докл. к инженерно-геологическому совещанию в г. Кунгуре (14-15 июня 1972 г.). Кунгур, 1972. С. 13-16.
9. Лыкошин А.Г. Карст и гидротехническое строительство. М.: Изд-во лит. по строит., 1968. 180 с.
10. Лукин В.С., Ежов Ю.А. Карст и строительство в районе г. Кунгура. Пермь: Перм. кн. изд-во, 1975. 118 с.
11. Fritz R., Stoyan D. Mathematic-statistical investigations for describing regularities of karsification phenomenons in carbonate and sulphate rocks // Proceedings Intern. Symp. «Engineering Geology of Karst». Perm, 1993. Vol. 1. P. 139-150.

Karst Hazards Assessment Based on the General Geological Approach at the Territory of City of Kungur

T.G. Kovaleva

Perm State University, 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia

E-mail: kovaleva@mail.ru

The article presents the results of assessment of the karst hazards at the territory of city of Kungur, where the carbonate and sulfate type of a karst is widely developed. General geological approach is based at first on the analysis of influence of geological structure and hydrogeological conditions of the karst massif on distribution of the superficial and underground karst forms. Related methodology was developed based on accessibility of the qualitative and quantitative characteristics of geological and hydrogeological structure necessary for the forecast. Comparison of the received cartographic materials with results of assessment of the karst hazards using standard methodology contained in the building code was made.

Key words: *karst; karst hazards; karst massif; karst forms.*

References

1. *Gorbunova K.A.* 1979. Morfologiya i gidrogeologiya gipsovogo karsta [Morphology and hydrogeology of gypsum karst]. Perm, p. 95. (in Russian)
2. *Ezhov Yu.A., Dorofeev E.P., Lukin B.C.* 1990. Navodneniya v rayone g. Kungura (ikh prichiny, dinamika, prognozirovanie i mery borby s nimi). [Floods near Kungur (their reason, dynamics, forecasting and measures of fight against them)]. Sverdlovsk, p. 50. (in Russian)
3. *Kataev V.N., Kadebskaya O.I.* 2010. Geologiya i karst goroda Kungura. 2010. [Geology and karst of the city of Kungur:] Perm, 236 p. (in Russian).
4. *Kovaleva T.G.* 2014. Osnovnye problemy karstologicheskogo prognoza na urbanizirovannykh territoriyakh [The main problems of the karstological forecast in the urban territories]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. n. 6, URL:<http://www.science-education.ru/120-16143>. (in Russian)
5. *Kovaleva T.G.* 2015. Rezultaty otsenki karstoopasnosti territoriy razvitiya karbonatno-sulfatnogo karsta na osnove geologo-gidrogeologicheskikh faktorov [Results of assessment of a karst hazards development at the territories of carbonate and sulfate karst on the basis of geological and hydrogeological factors]. *In Ekologicheskaya bezopasnost i stroitelstvo v karstovykh rayonakh*. Perm, pp. 173-176. (in Russian)
6. *Kovaleva T.G.* 2012. Geologo-gidrogeologicheskie pokazateli osobennostey stroeniya karstovykh uchastkov territorii g.Kungur i rasprostranennost karstovykh form [Geological and hydrogeological index of structure features of a karst areas of the Kungur territory and prevalence of karst forms]. *In Inzhenernaya geologiya i okhrana nedr*. Perm, pp. 97-101. (in Russian)
7. *Kovaleva T.G., Kataev V.N.* 2014. Podzemnyy relief karstuyushchikhsya porod kak indikator prostranstvennogo raspredeleniya form karsta [Underground relief of karstified rock as an indicator of spatial distribution of karst forms]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. n.4, URL: <http://www.science-education.ru/118-14415>. (in Russian)
8. *Loginov N.H.* 1972. Ob ustoychivosti uchastkov v rayonakh sulfatnogo karsta Preuralya [About stability of sites in regions of sulphate karst of the PreUrals] *Proc. of Sci. Meeting Voprosy inzhenernogo karstovedeniya*. Kungur, pp. 13-16. (in Russian)
9. *Lykoshin A.G.* 1968. Karst i gidrotekhnicheskoe stroitelstvo [Karst and hydrotechnical construction]. *Izd. lit. po stroit.*, Moskva. p. 180. (in Russian)
10. *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)
11. *Fritz R., Stoyan D.* 1993. Mathematic-statistical investigations for describing regularities of karsification phenomenons in carbonate and sulphate rocks. *Proceedings Intern. Symp. Engineering Geology of Karst*. Perm, 1:139-150.