

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КАРСТОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

¹Ковалёва Т.Г.

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

В практике карстологических исследований на настоящее время существует множество методик и подходов к оценке и прогнозу карстоопасности, которые применяются на различных этапах. Все они имеют ряд достоинств и недостатков, однако единого подхода к методике карстологического прогноза не принято до сих пор. В данной статье автором произведен анализ наиболее часто применяемых в практике методов карстологического прогноза, предложенных отечественными и зарубежными авторами, а также закрепленных в нормативной литературе. Кроме того, автором предпринята попытка установления положительных сторон и недостатков предложенных методик, а так же выделения основных проблем, связанных с проведением карстологического прогноза на урбанизированных территориях. Большинство методик основаны на учете поверхностных форм карста, их интенсивности проявления и морфометрических параметрах, при этом анализ особенностей геолого-гидрогеологического строения карстующегося массива, которое лежит в основе активизации карстового процесса, зачастую не производится.

Ключевые слова: карстоопасность, прогноз, методика, карстовые формы

THE MAIN PROBLEMS OF THE KARST FORECAST ON THE URBANIZED TERRITORIES

¹Kovaleva T.G.

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

At the present stage of development of engineering karstology there are multitude of methods and approaches to an assessment and the forecast of karst danger, which are applied at various stages. All of them have a number of merits and demerits, however uniform approach to a technique of the karst forecast it isn't accepted still. In this article the author made the analysis of the methods of the karst forecast which most often applied in practice. Besides, the author made an attempt of establishment of positive sides and imperfections of the offered methods, and also allocations of the main problems connected with carrying out the karst forecast on the urbanized territories. The majority of methods are based on the accounting of superficial karst forms, their intensity of manifestation and morphometric parameters, thus the analysis of features of a geological and hydrogeological structure of karst massif which is the cornerstone of activization of karst process, often isn't made.

Keywords: karst danger, forecast, method, karst forms

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. Неправильная оценка степени карстовой опасности почти всегда ведет к экономическим потерям вследствие

необоснованного отказа от той или иной территории для строительства; необоснованно повышенных требований по строительным и эксплуатационным мерам безопасности; недостаточных мер по недопущению деформаций сооружений.

Обзор основных методик карстологического прогноза

Для получения достоверной оценки опасности карста необходимо ответить на следующие вопросы: где, когда и при каких обстоятельствах могут произойти карстовые деформации в основании сооружений? Помимо этих вопросов необходимо решение целого комплекса задач: установление условий развития карста и разнообразия форм его проявлений, обнаружение карстовых полостей, определение степени их опасности, установление механизмов образования карстовых деформаций, определение влияния природных и техногенных факторов на параметры карстовых провалов и т.д. [2]. В.Н. Катаев считает, что оценка карстоопасности, как комплекс методов, входящих в состав инженерно-геологических изысканий на закарстованных территориях, должна предполагать проведение особого вида районирования территории (сравнительно-оценочное с элементами смешанного). Задачей подобного районирования будет являться установление пространственных закономерностей в распределении территориальных единиц, в пределах которых реально существует различная по степени вероятности возникновения деформаций поверхности массива в результате развития карстового процесса [3].

На современном этапе развития инженерного карстоведения в целях освоения и оценки закарстованных территорий применяемые методы можно разделить на три группы: качественные и количественные. Качественные методы стали применяться еще в начале прошлого столетия. Первые попытки оценки карстоопасности основывались на качественном учете поверхностных карстовых форм. В дальнейшем при качественной оценке и прогнозе карстоопасности стали уделять внимание геолого-гидрогеологическим условиям развития карста, подземной закарстованности, а также характеру техногенного воздействия на карстовый массив. Необходимо отметить, что единых критериев и признаков оценки активности карстового процесса в качественных методах не разработал, однако их общие черты были сформулированы еще в 1986 г. В.В. Толмачевым и др.: 1) при оценке карстоопасности, как правило, учитывается комплекс различных «поисковых» признаков, характеризующих в той или иной мере активность карста, однако этот учет проводится интуитивно или без должного обоснования; 2) оценка дается на основании выявления сугубо региональных особенностей карста в исследуемом районе; 3) исследуемая территория, как правило, делится на три категории: сильно закарстованный участок (не рекомендуемый для строительства); незакарстованный или слабозакарстованный участок (рекомендуемый для строительства); промежуточный по степени закарстованности участок (нежелательный для

строительства); 4) качественные методы оценки в должной мере не учитывают сроков службы, конструктивных и других особенностей сооружений; 5) для качественных методов оценки характерна чрезмерная категоричность рекомендаций по характеру освоения закарстованных территорий; 6) качественные методы оценки являются лишь первым этапом в оценке реальной опасности карста и принципиально не могут быть использованы для обоснования конкретных инженерных решений в области противокарстовой защиты [8].

Из вышесказанного следует, что качественным методам свойственна некоторая условность и субъективность, как правило, они применяются на первых этапах оценки и прогноза карстоопасности и зачастую учитывают те аспекты и особенности развития карста, которые невозможно учесть количественными методами, в связи с этим полный отказ от применения качественных методов является не логичным и ошибочным.

Количественных методов оценки карстоопасности и карстологического прогноза существует довольно много. Практически все из них в своей основе предполагают использование сведений о количестве и морфометрических характеристиках поверхностных карстопоявлений. Часто используемым для дифференцированной количественной оценки степени закарстованности территорий и прогноза их устойчивости относительно образования провалов является метод удаленности от ближайшего поверхностного проявления карста. Прогнозирование устойчивости закарстованных территорий по этому методу основано на предположении, что частоты ожидаемых провалов в прогнозируемом периоде будут распределены по удаленности от ближайших проявлений карста так же, как и в расчетном интервале времени. Здесь рассмотрения требуют три возможных случая применения данной методики: 1) имеются достаточные для статистической обработки данные по удаленности возникающих провалов от ближайших проявлений карста; 2) данные о случаях провалов недостаточны, но имеется достаточное для статистической обработки количество данных по удаленности воронок от ближайших проявлений карста; 3) имеющиеся по изучаемой площадке данные о воронках и случаях провалов недостаточны для статистической обработки. Разработал и применил этот метод прогнозирования устойчивости закарстованных территорий И.А. Саваренский в 1977 г. при исследованиях сильнозакарстованного участка площадью 5 км², прилегающего к восточной окраине г.Дзержинска. В настоящее время данный метод входит в число нормативных.

В практике изысканий на закарстованных территориях степень опасности карста определяется величиной интенсивности образования карстовых провалов, представляющее собой среднегодовое количество карстовых провалов, отнесенное к единице площади (среднегодовая плотность провалов, случай/км² в год). При проектировании конкретных сооружений значение интенсивности, вследствие неравномерности провального процесса, не

может служить объективной оценкой опасности карста. По И.А. Саваренскому и Н.А. Миронову [7] для достоверного определения показателя интенсивности требуется достаточно большая продолжительность наблюдений за образованием провалов (t) и достаточно большая площадь расчетного участка (S). Если расчетный промежуток времени t не менее 20 лет и площадь S не менее 5 км², оценка устойчивости считается достоверной независимо от количества зарегистрированных за это время провалов.

В дополнении к параметру интенсивности провалообразования в нормативной литературе применяется такой показатель, как средний диаметр карстового провала. Поскольку величина возможного поверхностного карстопроявления непосредственным образом влияет на карстоопасность через потенциальный ущерб, который может быть причинен сооружению. Кроме того, показатель среднего диаметра карстового провала используется в расчетах при проектировании зданий и сооружений, поэтому является несомненно важным. Таким образом, в современной нормативной литературе, в частности, СП-11-105-97 ч.II для оценки и прогноза карстоопасности рекомендовано использование двух показателей: интенсивности провалообразования: выделено 6 категорий устойчивости от I - с интенсивностью провалообразования более 1 шт./год до VI, где провалообразование исключается в силу отсутствия в разрезе карстующихся пород; среднего диаметра карстового провала: выделено 4 категории от А со средним диаметром свыше 20 м, до Г - с возможным диаметром до 3 м.

В современном инженерном карстоведении считается, что в наибольшей степени природу карстового процесса и особенность его изучения с инженерно-геологической точки зрения отражает вероятностная оценка, которую предложил один из ведущих инженеров-карстоведов В.В. Толмачев с различными соавторами. Основой вероятностной оценки являются следующие стохастические закономерности провалообразования: образование провалов во времени близко к закону редких событий (Пуассона), распределение диаметров карстовых воронок и провалов близко к логарифмически нормальному или, при определенных условиях, к нормальному распределению. Вероятностная оценка карстоопасности будет тем объективнее, чем однороднее территория по механизму образования, интенсивности и размерам карстовых провалов, поэтому исследуемая территория должна предварительно зонироваться. В 2005 г. В.В. Толмачев и М.В. Леоненко [9] предложили не только алгоритм расчета вероятности, но и новую классификацию закарстованных территорий с учетом модернизации существующей на данный момент вышеописанной нормативной классификации. Для этого они объединяют две классификации (по показателю интенсивности образования карстовых провалов и по среднему диаметру провалов) в одну. В качестве размерности показателя интенсивности они предлагают

принимать число провалов на 1 га за 100 лет, т.е. за время, соотносимое со сроком службы большинства сооружений. Также предлагается увеличить число категорий: по среднему диаметру провалов – с 4 до 5 и обозначать их строчными латинскими буквами; по интенсивности провалообразования – с 5 до 8 и обозначать их арабскими цифрами. Вместо привычных категорий устойчивости используется понятие категории карстоопасности. Нумерация категорий увеличивается по мере роста карстоопасности.

А.Л. Рагозин и В.А. Елкин [6] предложили следующую последовательность мероприятий оценки карстовой опасности. На первом этапе производится сбор и анализ всех доступных материалов о карстопроявлениях и определяющих их факторах в пределах оцениваемой территории. Затем выполняется дешифрирование космоснимков с использованием ГИС Mapinfo, позволяющей оперативно определять размеры карстовых провалов и оседаний и выносить их на карту. Далее проводятся полевые исследования на ключевых участках с целью уточнения или установления дешифровочных признаков, степени пораженности, закономерностей и возраста карстовых деформаций с использованием радиоуглеродного, споро-пыльцевого и геолого-геоморфологического методов. На заключительных этапах выполняется районирование по регионально-геологическим факторам развития карста и распространение на этой основе данных, полученных на ключевых участках, на всю оцениваемую территорию, и прогнозная оценка карстовой опасности на ключевых участках, а затем всей оцениваемой территории. По формулам рассчитывается интенсивность провалообразования в пределах наиболее пораженных карстовых участков, обособленных в пределах полей карстовых воронок. Затем на равном удалении от карстовых участков проводятся границы расчетных подучастков, повторяющие их контуры. На последнем этапе полученные прогнозные значения интенсивности относят к одной из 6 категорий карстовой опасности.

Коллективом авторов [5] была проведена оценка карстоопасности и карстового риска опорных участков урбанизированных территорий г. Москвы и промышленной территории г. Дзержинска. Ими были сделаны следующие выводы. Изучение карстового и карстово-суффозионного риска, так же, как и предсказание карстовых провалов и проседаний земной поверхности на урбанизированных и промышленных территориях с плотной застройкой и значительной техногенной нагрузкой оказывается очень сложной проблемой, которая не может быть решена каким-либо одним методом. Необходимо применение различных подходов. Детерминистический подход основан на сравнительном анализе и теоретическом обобщении закономерностей формирования и изменения напряженного состояния горных пород в закарстованных зонах и позволяет прогнозировать размеры провалов и оседаний на земной поверхности и в необходимых случаях принимать решения, направленные на

сохранение заданного коэффициента устойчивости. Геодинамический анализ территории и изучение ее структурно-геоморфологического строения позволяет выявить расположение и интенсивность карстового и суффозионного процессов. Вероятностно-статистический подход включает процедуру вероятностной оценки возможности разрушения инженерных объектов под действием проявления карста. Эта вероятность служит исходной информацией для расчета экономического риска.

Сложность изучения и прогнозирования карста можно объяснить трудностью его обнаружения и необходимостью учета большого числа влияющих на него факторов и их изменение во времени. В этой ситуации помощь могут оказать статистические модели, основанные на применении многомерного корреляционно-регрессионного анализа. Применение этого метода оценки карстоопасности и прогнозирования карстовых процессов возможно только в результате как можно более полного и всестороннего изучения инженерно-геологических условий местности, а также условий развития карста.

В Башкортостане были разработаны территориальные строительные нормы (ТСН 302-50-95 РБ), распространяющиеся на изыскания, проектирование, строительство и эксплуатацию зданий и сооружений на закарстованных территориях. Согласно этому документу, на устойчивость закарстованных территорий оказывает влияние комплекс показателей, учитывающий параметры поверхностной и подземной закарстованности, а также особенности геолого-гидрогеологического строения территории. Оценку устойчивости предлагается проводить в три стадии: предпроектной документации, рабочего проекта и рабочей документации. В результате получается объемная статическая модель состояния оцениваемого карстового массива, дифференцированная на шесть категорий по степени устойчивости. Территории III и IV категории устойчивости, согласно этой методике на стадии рабочей документации дополнительно дифференцируются по степени карстовой опасности с выделением зон А, В и С по наличию или отсутствию карстовых полостей в массиве, их размерам и степени заполненности вторичным материалом [1].

Положительной стороной предложенной схемы оценки является большое число учитываемых признаков, количество которых наращивается от одной стадии проектирования к другой. К отрицательным моментам можно отнести: невыдержанность терминологии (карстоопасность и закарстованность); нелогичность расположения категорий устойчивости (от большей к меньшей); неопределенность выбора признаков для выделения категорий устойчивости; выделение категорий по преобладающему большинству признаков; «перекрытие» критериев для определения категорий устойчивости.

Территориальные строительные нормы, используемые в Пермском крае (ТСН 11-301-2004 По) при отнесении территории к той или иной категории устойчивости во многом

ссылаются на методику, используемую в Башкортостане, однако, в ней также присутствуют и другие показатели, предложенные В.П. Костаревым.

Щербаковым С.В. для прогноза карстоопасности территорий карбонатно-сульфатного карста Пермского края была предложена интегральная методика, в сути которой лежит расчет вероятностей на основе значений 17 показателей, характеризующих структурно-тектоническую, геологическую, гидрогеологическую, геоморфологическую и инженерно-геологическую ситуацию на исследуемой территории. Данная методика хороша, прежде всего, тем, что в ее основу положены сведения об основных условиях и факторах развития карста на исследуемой территории. Однако для расчетов по данной методике необходим достаточно большой набор входных фактических данных, характеризующихся максимальной степенью однородности и объективности, что не всегда может быть достигнуто при прогнозе на слабо исследованных территориях. Кроме того, как отмечает и сам автор, еще один недостаток заключается в неустойчивом характере некоторых зависимостей и распределений карстовых форм и их параметров по показателям природного строения, математические выражения которых заложены в основу интегральной оценки. С этим связаны несколько завышенные значения прогнозируемых средних диаметров провалов при исследованиях на некоторых частных объектах [10].

Выводы

Суммируя все вышесказанное, можно заключить, что основными проблемами карстологического прогноза на современном этапе развития карстоведения являются:

- отсутствие единого комплекса признаков и факторов, используемого в карстологическом прогнозе, кроме того, зачастую не проводится его должное обоснование;
- большинство прогнозных построений выполняется по результатам анализа поверхностных карстовых форм, которые, как правило, пространственно неадекватно отражают подземную закарстованность, что приводит к неоднозначным результатам, поскольку такие прогнозы строятся на том предположении, что процесс карстообразования будет идти аналогично предыдущим стадиям, т.е., таким образом, не учитывается эволюционный характер развития карстового массива, что может привести к грубым ошибкам;
- для достоверности прогноза по большинству методик требуется длительный период наблюдения с данными определенного качества, включающими время образования карстопроявлений, их характер, морфометрию, зачастую подобный мониторинг на закарстованных территориях не ведется, и получение качественной информации для расчетов невозможно;

- оценки по конкретным карстовым формам носят вероятностно-статистический характер, следовательно, результаты прогнозов, по мнению некоторых авторов относятся к группе неподтвержденных гипотез;
- для повышения достоверности прогноза необходима достаточно большая площадь исследования, при укрупнении масштаба исследований результаты расчетов для одной и той же территории могут различаться.

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. На необходимость учета особенностей геолого-гидрогеологического строения территории при прогнозных построениях в разное время указывали отечественные и зарубежные ученые.

Под карстологическим прогнозом автор понимает *научно обоснованное предсказание условий и факторов состояния, последовательности и механизма развития карстового массива в целом или его отдельных элементов, включая карстовые формы* [4]. 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.

Список литературы

1. Абдрахманов Р.Ф., Мартин В.И., Попов В.Г., Рождественский А.П., Смирнов А.И., Травкин А.И. Карст Башкортостана. Монография. Уфа: "Информреклама", 2002. 385 с.
2. Ерофеев Е.А., Катаев В.Н. Применение вероятностно-статистических методов оценки карстовой опасности в условиях техногенного воздействия на закарстованные территории // Инженерная геология, № 4, 2010. С. 34-46.
3. Катаев В.Н. Методология и практика сравнительно-оценочного карстологического районирования: Учебное пособие по спецкурсу / Перм. ун-т. – Пермь, 2001. 85с.
4. Катаев В.Н., Ковалёва Т.Г. Роль экспертной оценки в карстологическом прогнозе // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8 (часть 5). – стр. 1130-1135.

5. Мулдер Э., Осипов В.И., Кутепов В.М., Толмачев В.В., Макаров В.И., Миронов О.К., Катаев В.Н., Еремина О.Н. К оценке опасности и риска на городских и промышленных закарстованных территориях на примере опорных участков в Москве и Дзержинске // Карстование - XXI век: теоретическое и практическое значение: материалы международного симпозиума (25-30 мая 2004, Россия). Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2004. С. 29-36.
6. Рагозин А.Л., Елкин В.А. Региональная оценка карстовой опасности и риска // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2003. № 4. С. 33-52.
7. Саваренский И.А., Миронов Н.А. Руководство по инженерно-геологическим изысканиям в районах развития карста. М.: ПНИИС, 1995. 167 с.
8. Толмачев В.В., Троицкий Г.М., Хоменко В.П. Инженерно-строительное освоение закарстованных территорий. М.: Стройиздат, 1986. 176 с.
9. Толмачев В.В., Леоненко М.В. О классификации закарстованных территорий по провальной опасности // ОФМГ, №2, 2005. С. 11-14.
10. Щербаков С.В. Интегральная оценка карстоопасности районов развития карбонатно-сульфатного карста на примере Среднего Предуралья. Дис. канд. геол.-минерал. наук. Перм. гос. науч.-иссл. ун-т. Екатеринбург, 2013. 273 с.

Рецензенты:

Катаев В.Н., д.г.-м.н., профессор, зав. кафедрой Динамической геологии и гидрогеологии ПГНИУ, проректор по научной работе и инновациям ПГНИУ, г. Пермь;
Наумов В.А., д.г.-м.н., профессор, директор Естественнонаучного института ПГНИУ, г. Пермь.