

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАРСТОВЫХ ФОРМ

*Щербаков С.В., Катаев В.Н.*

*Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Российская Федерация, +7(342)2396506, +7(342)2396668, e-mail: [greyvr@mail.ru](mailto:greyvr@mail.ru), [kataev@psu.ru](mailto:kataev@psu.ru)*

### PREDICTION OF GENERAL MORPHOMETRIC PARAMETERS OF KARST FORMS

*The assessment of probably sizes of superficial and underground karst forms is one of key problem of karst engineering. Extension of our knowledge about available relationships between main morphometric parameters of superficial and underground karst forms is an actual subject. The research is executed within the international project «Methodology development risk-analysis of economic development and estimation of vulnerability of ground waters in karst areas» financed by the Ministry of Education of Permsky krai from means of the regional budget.*

Применяемые в практике инженерно-геологических исследований методы прогноза возникновения опасных ситуаций в пределах закарстованных территорий сводятся к получению двух основных характеристик – вероятности возникновения провала в данном месте и оценки его возможных размеров. Например, действующими нормативными нормами [2] при районировании закарстованных территорий по степени устойчивости наряду с качественными показателями регламентировано применение двух количественных величин, в зависимости от значений которых, территория относится к той или иной категории устойчивости. Этими величинами являются интенсивность провалообразования и средний диаметр провалов. Однако в настоящее время с применением действующих методических подходов точность прогнозирования этих двух величин в большинстве случаев является недостаточной. Кроме того, крайне мало внимания уделяется морфометрическим

параметрам подземных карстовых форм, от которых во многом зависят вероятные размеры вновь образуемых провалов.

Принимая во внимание выше изложенное, в данной работе приводится попытка обобщения обширного фактического материала по морфометрическим характеристикам карстовых форм, закартированных в пределах наиболее изученных территорий развития сульфатно-карбонатного карста Пермского края. Целью исследования являлось установление статистических закономерностей распределения морфометрических параметров как поверхностных, так и подземных карстовых форм с их последующей генерализацией.

В анализе использованы сведения о параметрах воронок и провалов, полученные в результате карстологических съемок, а так же сведения о параметрах карстовых полостей и зон дробления, вскрытых в результате буровых работ. Обоснование включения в карстологический анализ зон дробления было выполнено авторами ранее [4]. За исходные данные для анализа были взяты основные морфометрические характеристики карстовых форм: *средний диаметр ( $d$ )* воронок и провалов, *высота* или *мощность ( $h$ )* вскрытых бурением полостей и зон дробления.

В практике карстологического анализа давно доказано, что распределение диаметров карстовых провалов носит логарифмически нормальный характер [1], при этом в зависимости от возраста образования провалов кривая логнормального распределения постепенно отклоняется в сторону больших значений [3], однако характер этого отклонения в большинстве случаев оказывается незначительным.

К сожалению, изучение особенностей распределения параметров подземных карстовых форм в практике карстологического анализа применяется редко. Статистическая обработка большого объема информации по морфометрии полостей и зон дробления, закартированных на территории Пермского края, позволила установить логнормальный характер распределения их вертикальных размеров.

Принимая во внимание отмеченную общность распределений, закономерно возникает вопрос о наличии взаимосвязей между морфометрией поверхностных и подземных форм карста. Следует признать, что проследить взаимосвязь между средними диа-

метрами поверхностных и высотами (мощностями) подземных карстовых форм, а затем представить ее в количественной форме является достаточно сложной задачей.

Ввиду невозможности равномерного площадного изучения подземного пространства и, как следствие, установления мощности полостей и зон дробления во всех точках массива, невозможно осуществлять и их непосредственное сопоставление с провалами, происходящими на поверхности. Современными методами исследования устанавливается лишь случайное дискретное расположение карстовых форм в пространстве. В таких условиях оценка зависимостей между морфометрией карстовых форм должна осуществляться комплексированием нескольких подходов. В ходе исследований были использованы следующие процедуры анализа:

- 1) сопоставление кривых распределений основных морфометрических параметров карстовых форм;
- 2) оценка площадного развития равных интервалов значений морфометрических параметров;
- 3) картографическое сопоставление площадей с общими интервалами изменчивости морфометрии карстовых форм.

Сопоставление распределений морфометрических параметров поверхностных и подземных карстовых форм друг с другом осуществляется путем приведения их к общему виду. Для этого каждое частное значение рассматриваемой морфометрической характеристики делится на ее территориальный максимум – максимальное значение в пределах всей исследуемой территории. В результате исследователь получает возможность использования *индексных оценок морфометрии карстовых форм и зон дробления (I)*:

$$I_{d_i} = \frac{d_i}{\max d}, \quad I_{h_{p_i}} = \frac{h_{p_i}}{\max h_p}, \quad I_{h_{z_i}} = \frac{h_{z_i}}{\max h_z}, \quad (1)$$

где  $I_i$  – индексная оценка  $i$ -го значения какого-либо показателя, д.е.;  $h_p$  – высота полости, м;  $h_z$  – мощность зоны дробления, м.

Было установлено, что дифференциальные кривые распределения, построенные по индексным оценкам средних диаметров и мощностей карстовых форм в целом отражают логнормальный характер распределения этих параметров. Сопоставление кривых распределений различных морфометрических параметров между

собой, выраженных в индексной форме, свидетельствует об их практической идентичности, что позволяет вместо набора кривых распределений каждого из отдельных морфометрических параметров использовать одно распределение, в интегрированной форме отражающее каждое из них.

Совпадение индексных оценок различных морфометрических параметров между собой позволяет ввести самостоятельный показатель – *общий индекс морфометрии I*. Данный индекс характеризует как распределения средних диаметров и глубин провалов и воронок, так и вертикальных размеров полостей и зон дроблений.

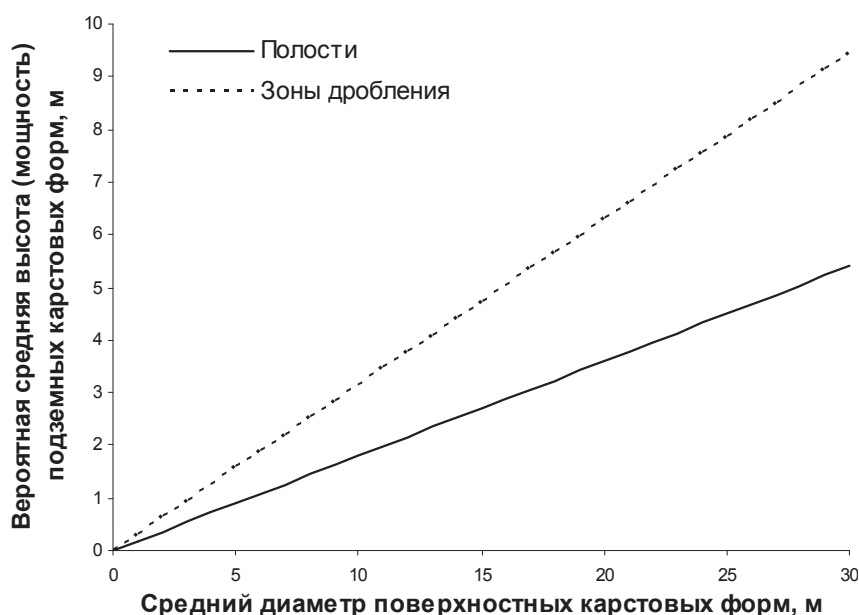
Однако совпадение распределений морфометрических характеристик поверхностных и подземных карстовых форм хоть и является прямым индикатором их взаимозависимости, но отнюдь не дает гарантий того, что между ними имеются тесные корреляционные связи. Подтверждением взаимосвязи между морфометрией поверхностных и подземных карстовых форм может служить анализ их площадного развития в равных интервалах, а также картографическое сопоставление площадей их распространения.

Результаты картографического анализа свидетельствуют о том, что в площадном отношении в пределах исследуемых территорий наиболее развиты карстовые формы с относительно небольшими диаметрами и высотами (менее 0,2 в индексном выражении). С увеличением средних размеров провалов, полостей и зон дробления площади их пространственного развития заметно сокращаются.

Наличие общности распределений и фактическое совпадение площадей распространения подземных и поверхностных карстовых форм с близкими морфометрическими параметрами позволяет заключить о тесном характере взаимосвязи между их средними диаметрами и высотами. Принимая это во внимание, становится возможным осуществлять прогнозирование рассматриваемых морфометрических параметров одних карстовых форм по другим, отталкиваясь от их индексных оценок. На рисунке приведены прогнозные прямые, построенные по табличным данным.

Следует понимать, что установленная зависимость не является универсальной. Она лишь выражает принципиальный характер взаимосвязи между исследуемыми размерами поверхностных

и подземных карстовых форм. Их высота в данном случае выступает в роли ключевого фактора. Именно этот параметр оказывает наиболее сильное влияние и во многом предопределяет вероятные размеры вновь образующихся провалов на поверхности земли. Однако в природе нередки случаи, когда фиксируются значительные отклонения от установленной взаимосвязи.



**Рис. Взаимосвязь между средними диаметрами поверхностных карстовых форм и высотами (мощностями) карстовых полостей и зон дробления**

## ЛИТЕРАТУРА

1. Горбунова К.А. Морфометрическая характеристика карбонатного карста // Карст Урала и Приуралья: матер. Всеуральского совещания, ноябрь, 1968 г. Пермь, 1968. С. 33-39.
2. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Ч. II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических инженерно-геологических процессов. М.: ПНИИИС, 2001. 101 с.
3. Толмачев В.В., Ройтер Ф. Инженерное карстование. М.: Недра, 1990. 151 с.
4. Щербаков С.В. Анализ подземной закарстованности на территории Полазненского полуострова // Геология в развивающемся мире: материалы I Всеросс. конф. студ., асп., и молодых ученых: в 2 т. Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2010. Т. 2. С. 43-46.