

## В.П. ХОМЕНКО

Доктор геолого-минералогических наук,  
главный научный сотрудник ОАО «ПНИИИС», профессор МГСУ (Москва)  
Тел. +7 (905) 7414240, e-mail: khomenko\_geol@mail.ru

### ЗАКОНОМЕРНОСТИ КАРСТОВОГО ПРОВАЛООБРАЗОВАНИЯ

В последнее время в нашей стране и за рубежом в инженерном карстоведении широко используются географические информационные системы (ГИС), в первую очередь для оценки карстовой опасности (Соколова и др., 2010). Возможности ГИС-технологий очень велики, но к сожалению они не всегда используются в прогностических целях, особенно, если речь идет о карстовом провалообразовании, хотя именно оно представляет наибольшую опасность для объектов промышленного, гражданского и транспортного строительства. Это связано с одним странным противоречием: с одной стороны ГИС-технологии открывают широкую перспективу для выявления закономерностей формирования карстовых провалов, с другой – такие задачи ставятся довольно редко. Более того, очень часто в процессе автоматизированной обработки больших массивов данных о карстовых провалах и условиях их образования игнорируются количественные, и даже качественные закономерности, установленные ранее другими методами. Рассмотрим некоторые из них.

В настоящее время не вызывает сомнений тот факт, что карстовые провалы заметно различаются по механизму их формирования, который в свою очередь определяется геологическими условиями. Благодаря новейшим отечественным исследованиям, в том числе экспериментального характера, хорошо известная дифференциация карстовых провалов на три типа (Саваренский, Миронов, 1995) может быть расширена так, как это показано на рисунке. Следует отметить, что в аналогичном направлении активно работают испанские специалисты (Gutiérrez et al, 2008).



Рис. Основные генетические типы карстовых провалов

Перечислим в тезисном виде некоторые закономерности, которые были установлены отечественными специалистами применительно к основным типам карстового провалообразования, или отметим факт их отсутствия. Все эти закономерности были выявлены главным образом в результате полевых и экспериментальных исследований и, как правило, получили математическое выражение в виде расчетных формул. Обычно речь идет о необходимых условиях образования провалов определенного генетического типа и (или) об их размерах.

В условиях открытого карста, когда растворимые породы выходят на земную поверхность или задернованы, формируются только карстово-обвальные провалы. В связи с отсутствием в данном случае верхней базисной границы обрушения, в роли которой выступает поверхность контакта растворимых пород с вышележащими нерастворимыми породами, о размерах таких провалов и необходимых условиях их образования судить практически невозможно. Исключение может представлять собой ситуация, когда точно известно местоположение верхней точки карстовой полости, кровля которой может испытать обрушение, однако получить такие данные бывает весьма затруднительно, даже с помощью геофизических исследований.

Провалообразование исключительно карстово-обвального и никакого иного генетического типа характерно и для условий бронированного карста, когда растворимые породы до земной поверхности перекрыты скальными нерастворимыми породами. Согласно исследованиям В.Н. Андрейчука (1994), возможность образования таких провалов определяется мощностью толщи покрывающих пород и коэффициентом их разрыхления. Диаметр провала также зависит от мощности покрывающих пород и от их прочностных характеристик.

Карстово-обвальные провалы «простого» типа (Хоменко, 2009б) могут появляться только в условиях покрытого карста, когда растворимые породы перекрыты до земной поверхности глинистыми породами. Их диаметры определяются мощностью толщи глинистых пород и их прочностными характеристиками, а также пьезометрическим напором карстовых вод. Возможность образования провалов этого генетического типа зависит от мощности покрывающих пород и от их прочностных свойств.

В условиях покрытого карста формируются и карстово-обвальные провалы «сложного» типа, но для них необходимо, чтобы над глинистыми породами залегали водонасыщенные несвязные породы (Хоменко, 2009а). Возможность образования провалов этого типа и их диаметры зависят от мощности глинистых пород, и от их прочностных характеристик, от пьезометрического напора карстовых вод, а также от мощности несвязных пород и зоны их насыщения.

Карстово-суффозионно-обвальное (смешанное) провалообразование также характерно для условий покрытого карста, но для его реализации необходимо, чтобы уровень карстовых вод располагался выше кровли растворимых пород и перекрывающего их глинистого слоя при его наличии. Условия, необходимые для образования таких провалов, и их диаметры

определяются высотным положением уровня карстовых вод, пористостью водонасыщенных несвязных пород и углом их естественного откоса под водой, а также плотностью и прочностными характеристиками связных и несвязных дисперсных пород, залегающих выше пьезометрической или свободной поверхности карстовых вод (Хоменко, 2003).

В условиях покрытого карста, когда растворимые породы перекрыты до земной поверхности несвязными породами, а уровень карстовых вод расположен ниже их кровли, образуются карстово-суффозионные провалы вадозного типа. Лабораторное физическое моделирование процесса их формирования показало (Хоменко, 2003), что диаметры этих провалов зависят от мощности покрывающей толщи и угла внутреннего трения слагающих ее несвязных пород. Условия, необходимые для карстово-суффозионного провалообразования вадозного типа, определяются теми же параметрами и коэффициентом фильтрации несвязных пород.

Если же в условиях покрытого карста несвязные породы, слагающие покрывающую толщу, находятся в водонасыщенном состоянии, появляется возможность образования карстово-суффозионных провалов фреатического типа. Эта возможность, также как и диаметры такого рода провалов зависят от высотного положения уровней надкарстовых и карстовых вод, а также от плотности и прочностных свойств связных и несвязных дисперсных пород, слагающих покрывающую толщу (Хоменко, 2003).

Необходимо отметить, что для карстового провалообразования разных генетических типов одни и те же параметры могут играть разную роль. Например, снижение уровня карстовых вод благоприятствует образованию карстово-суффозионных провалов фреатического типа и увеличению их диаметров, однако на карстово-суффозионно-обвальное провалообразование этот фактор оказывает прямо противоположное воздействие.

### Список литературы

- Андрейчук В.Н. Некоторые особенности и следствия обвальных процессов под землей.// Карстовые провалы: Тез. докл. Юбил. Конф. Кунгур 38-29 сент. 1994 г.- Екатеринбург, 1994.
- Саваренский И.А., Миронов Н.А. Руководство по инженерно-геологическим изысканиям в районах развития карста.-М., 1995.
- Соколова И.А., Хоменко В.П., Толмачев В.В., Алешина Л.А. Зарубежный опыт использования ГИС-технологий для оценки карстовой опасности.// Инженерные изыскания.- 2010.-№5.
- Хоменко В.П. Закономерности и прогноз суффозионных процессов.-М., 2003.
- Хоменко В.П. Карстово-обвальные провалы «сложного» типа: физическое моделирование./ Инженерная геология. -2009а.
- Хоменко В.П. Карстово-обвальные провалы «простого» типа: полевые исследования.// Инженерная геология. -2009б.-№4.
- Gutiérrez F., Guerrero J., Lucha P. A genetic classification of sinkholes illustrated from evaporate paleokarst exposures in Spain,// Environmental Geology.- 2008.