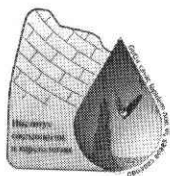


**ФГАОУ ВО Крымский федеральный университет
им. В.И. Вернадского
Таврическая академия**

**Кафедра геоморфологии и землеведения
Учебно-методический научный центр
«Институт спелеологии и карстологии»**

**Отделение Русского географического общества в Республике Крым
Российский союз спелеологов**



ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ ПОДЗЕМНЫХ ПРОСТРАНСТВ И ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Материалы

Всероссийской научно-практической конференции

II КРЫМСКИЕ КАРСТОЛОГИЧЕСКИЕ ЧТЕНИЯ

посвященной 60-летию отечественной спелеологии
и 100-летию кафедры землеведения и геоморфологии
КФУ им. В.И. Вернадского

*Симферополь, Республика Крым, Россия
25-28 сентября 2018 г.*

Изучение и использование естественных и искусственных подземных пространств и закарстованных территорий. Материалы Всероссийской научно-практической конференции II КРЫМСКИЕ КАРСТОЛОГИЧЕСКИЕ ЧТЕНИЯ, Симферополь, 25-28 сентября 2018 г. – Симферополь, 2018. – 200 с.

В сборнике освещены современное состояние картолого-спелеологических исследований и актуальные проблемы практического использования подземных пространств в России и странах ближнего зарубежья. Представлены 43 статьи, посвященные вопросам геологии и гидрогеологии закарстованных территорий, спелеологии и спелестологии, изучения отложений и климата карстовых полостей, биоспелеологии, охраны карстовых ландшафтов, спелеотуризма и музеефикации подземных пространств.

Study and use of the natural and artificial underground spaces and karstified territories. Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference II CRIMEAN CARSTOLOGICAL READINGS, Simferopol, 25-28 September 2018. – Simferopol, 2018. – 200 p.

State of the art of karstological and speleological researches and the actual issues of practical use of underground spaces in Russia and nearby countries are showed in the proceedings. 43 papers on the problems of geology and hydrogeology of karstified territories, speleology and spelestology, study of karst caves deposits and climate, biospeleology, protection of karst landscapes, speleotourism and museumification of underground spaces are presented.

Организационный комитет II Крымских карстологических чтений:

Председатель Организационного комитета – проф., д.г.н. Вахрушев Б.А.

Члены Оргкомитета: д.г.н. Кадебская О.И., к.г.н. Амеличев Г.Н., Самохин Г.В., к.г.н. Лукьяненко Е.А., д.физ.-мат.н. Шелетин А.Л., Юшко А.А., к.б.н. Мазина С.Е., Гунько А.А., Червяцова О.Я.

Ответственные секретари – Науменко В.Г., Токарев С.В.

Компьютерная верстка: Амеличев Е.Г.

Фото на обложке – Тимохина Е.И.

Все статьи публикуются в авторской редакции

© Коллектив авторов, 2018

© Учебно-методический научный центр Институт спелеологии и карстологии и кафедра землеведения и геоморфологии Таврической академии Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского, 2018

Инженерная геология, 2017. - №5. - С. 40-51.

6. Нешеткин О.Б., Сафронова А.А., Ильин А.Н. Геодинамика сульфатного карста Окско-Волжского междуречья. Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий. Материалы Межд. симп. Екатеринбург, 2001.

УДК: 624.131.3

РОЛЬ МЕХАНИЗМА ОБРАЗОВАНИЯ ПРОВАЛА В ИНЖЕНЕРНО-КАРСТОЛОГИЧЕСКОМ ПРОГНОЗЕ

Щербаков С.В.

ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» (ПГНИУ), лаборатория прогнозного моделирования в геосистемах, Пермь, Россия; sherbakov.lpmg@mail.ru

Аннотация: В работе рассматривается наиболее общий механизм образования большинства провалов и оседаний в районах развития покрытого карста на примере максимально генерализованных схем. Указывается о необходимости учета генезиса поверхностных деформаций рельефа, как одного из ключевых факторов, оказывающих влияние на точность инженерно-геологического прогноза в районах развития карста.

Ключевые слова: карст, карстоопасность, карстовые деформации, провал.

ROLE OF SINKHOLE MECHANISM DEVELOPMENT IN ENGINEERING GEOLOGICAL PROGNOSIS

Shcherbakov S.V.

Perm State University (PSU), Laboratory of prognostic modeling in geosystems, Perm, Russia; sherbakov.lpmg@mail.ru

Abstract: In article considered most general mechanism of sinkholes development in areas with covered karst on the example of maximum generalized schemes. Mentioned about necessarily taking into account of genesis of surface deformations, as one of the basic factors influenced on the accuracy of engineering geological prognosis in the regions with development of karst.

Key words: karst, karst hazard, karst deformations, sinkhole.

В инженерном карстоведении известно два принципиальных механизма образования провалов и оседаний поверхности земли в условиях покрытого карста – карстово-обвальный и карстово-суффозионный. Все поверхностные карстовые формы образуются либо по первому, либо по второму сценарию, либо в результа-

те совместного действия обоих этих механизмов (карстово-суффозионно-обвальный). Детально частные случаи механизма формирования провалов и локальных оседаний в карстовых районах рассмотрены в работах В.В. Толмачева и Ф. Ройтера [3], В.Н. Андрейчука [1], В.П. Хоменко [4, 5] и А.В. Аникеева [2]. Согласно В.В. Толмачеву и Ф. Ройтеру [3] с определенной долей приближения карстовые формы в карбонатных породах можно с инженерно-геологической точки зрения считать аналогами карстовых форм в сульфатных породах в отношении механизма их образования.

Принципиальные схемы формирования поверхностных карстовых деформаций по двум выше названным механизмам приведены на рисунке 1. Данные схемы являются обобщенными, т.к. не учитывают следующие моменты:

- возможность моментального обрушения покровной толщи грунтов в карстовую полость, залегающую на глубинах, превышающих 20-30 м, в результате чего происходят катастрофические провалы больших диаметров;
- зональность и этажность карстологического массива, часто выражающуюся через наличие нескольких глубинных горизонтов развития полостей, приуроченных к разновозрастным толщам карстующихся пород;
- характер напластования покровных грунтов;
- наличие в покровной толще нескольких грунтовых водоносных горизонтов;
- наличие, уровни и напор трещинно-карстовых подземных вод;
- характер и масштабы проявления химической суффозии, с которой связано растворение карбонатного и сульфатного цемента в некарстующихся полускарстных грунтах (песчаниках, алевролитах и пр.), выщелачивание и деградация глинистых грунтов за счет растворения и выноса солей и др.

Отмеченные выше допущения, безусловно, влияют на ход течения процесса развития деформаций в толще грунтов и на конечную форму и размеры деформации на поверхности земли. Однако при этом общий принцип формирования таких деформаций остается неизменным.

Общим моментом схем А1, А2 и В1 (рис. 1) является то, что обрушение полости закладывается в ослабленной зоне в сводовой части, либо в некарстующихся перекрывающих грунтах (схемы А1, А2), либо непосредственно в карстующихся породах (схема В1). При сравнительно небольшой структурной прочности пород вследствие собственного веса и давления вышележащих пластов, в сводах таких полостей возникают различные деформации, трещины, что приводит к обрушению пород. Обрушение сводов приводит в свою очередь к накоплению обломков и полость постепенно перемещается вверх. Это достаточно длительный процесс, характеризующийся слабой интенсивностью, в ходе развития которого выделяется ряд стадий различной продолжительности.

Механизм образования провалов в результате обрушения сводов некарстующихся отложений (рис. 1, схема А) наблюдается в условиях покрытого карста, в том случае, когда перекрывающая толща представлена рыхлыми четвертичными и подстилающими их коренными глинистыми или полускарстными отложениями. Заметим, что своды обрушения закладываются в пределах участков, где породы имеют выраженную трещиноватость, определяемую тектоническим фоном, при условии колебаний уровней трещинно-карстовых подземных вод от безнапорного

до напорного режимов фильтрации в течение годового цикла. В конечном счете, полость проявляется на поверхности в виде карстово-обвального провала, а в массиве формируется обвальная разуплотненная толща грунтов (рис. 1, схема А1). С наличием подземных вод в толще рыхлых дисперсных отложений возможна активизация суффозионного процесса, в результате действия которого в открытую полость постепенно привносится рыхлый материал, а на поверхности постепенно формируется карстово-суффозионная просадочная муфта (оседание), а в случае дальнейшего развития суффозионного процесса – карстово-суффозионно-обвальный провал (рис. 1, схема А2).

В условиях залегания полости в карстующихся монолитных отложениях (рис. 1, схема В1) прямое обрушение сводовой части сопровождается активным растворением породы по системам субвертикальных структурных трещин, пронизывающих карстовый массив. Вертикальные размеры полостей постепенно увеличиваются по направлению к поверхности, принимая вид органной трубы. По мере дальнейшего растворения и выщелачивания карстующихся отложений полость приближается к толще рыхлых перекрывающих отложений. В определенный момент времени удерживающие усилия в перекрывающей толще отложений сменяются сдвигающими и полость выходит на поверхность в результате резкого обрушения и образования провала.

Следует отметить, что механизм формирования карстово-суффозионных и карстово-суффозионно-обвальных оседаний и провалов, образующихся в условиях залегания полости в толще трещиноватых, раздробленных карстующихся пород, перекрытых песчано-глинистыми грунтами (рис. 1, схема В2), принципиально отличается от механизма образования подобных форм в условиях, описываемых схемой А2 (рис. 1). В данном случае суффозионный вынос носит более интенсивный характер и может наблюдаться по всей площади поверхности кровли карстующихся пород, что приводит к более широкому развитию локальных оседаний на дневной поверхности, некоторые из которых могут развиваться и переуглубляться на протяжении многих лет. Не исключается и образование провалов, в том числе больших диаметров, при условии, залегания карстующейся толщи на значительных глубинах, как правило, превышающих 30 м.

Таким образом, формирование карстово-суффозионных (оседания) и карстово-суффозионно-обвальных (провалы) деформаций (схемы А2, В2, рис. 1) становится возможным при соблюдении следующих условий:

- наличие выдержанного по мощности одного или нескольких горизонтов грунтовых вод, уровни которых подвержены постоянным колебаниям в течение года;
- наличие песчаных или супесчаных прослоев в покровной толще, подверженных суффозионному выносу;
- наличие трещин в кровле карстующихся и перекрывающих их относительно водоупорных глинистых или полускальных грунтов.

Для формирования локальных оседаний на поверхности земли, а в некоторых случаях и провалов, не обязательно наличие полостей-приемников в толще карстующихся пород. Для их развития достаточным условием является раздробленность и наличие разветвленной системы трещин в толще покровных относительно

водоупорных глинистых (полускальных) или карстующихся пород. Зачастую, такие участки в толще грунтового массива связаны с погребенными корами выветривания и с зонами дробления в карстующейся толще.

Ко всему выше сказанному следует добавить, что случаи развития карстового процесса только по «классическому», карстово-обвальному механизму, достаточно редки. В действительности гидрогеологические условия, в которых находится грунтовый массив, в течение года могут существенно изменяться. При этом механизмы развития карстовых деформаций также могут чередоваться (А1→А2→А1, В1→В2→В1, рис. 1). К сожалению, объективно количественно оценить вклад каждого из двух обозначенных выше механизмов даже в процентном соотношении для конкретной карстовой формы, одновременно рассматривая ее в привязке к инженерно-геологическим условиям в месте ее локализации, на сегодняшний день представляется сложно выполнимой задачей.

Отдельно стоит упомянуть, что схемы А и В (рис.1) не являются строго самостоятельными и могут в различных пропорциях накладываться друг на друга в зависимости от геологического строения массива.

В заключение отметим, что далеко не всегда карстовая полость в процессе своего развития достигает приповерхностной части и приводит к формированию оседания или провала. Нередки случаи, когда объем накапливаемого обрушенного и разрыхленного материала превосходит объем пород в естественном плотном залегании в условиях пласта, что зачастую ведет к смыканию обвальной части со сводом полости, после чего обвальный процесс затухает и полость более не развивается. Аналогичное явление также может наблюдаться при ограниченной аккумулятивной емкости карстующейся толщи. В любом случае, в толще массива образуется раздробленная разуплотненная зона пород, которая в ходе дальнейшего развития, привноса дисперсных частиц и уплотнения обломочного материала превращается в карстовую брекчию.

Таким образом, размеры поверхностных карстовых деформаций зависят от механизма протекания карстового процесса, который определяется структурно-тектоническим планом (система трещин и разломов, неотектонические движения и пр.), геологическим строением (мощностью и чередованием различных грунтовых слоев), гидрогеологическими условиями и физико-механическими свойствами грунтов. На сегодняшний день известны три основных механизма деформирования грунтов над карстовой полостью (рис. 1): карстово-обвальный, карстово-суффозионный и карстово-суффозионно-обвальный. Даже в условиях одной площадки данные механизмы могут чередоваться в течение года, что делает процесс карстообразования в части определения диаметров провалов и оседаний трудно прогнозируемым. Однако и при такой большой неопределенности верное решение инженерной задачи в части оценки карстоопасности участка не может быть достигнуто без учета механизма развития процесса в грунтовой толще.

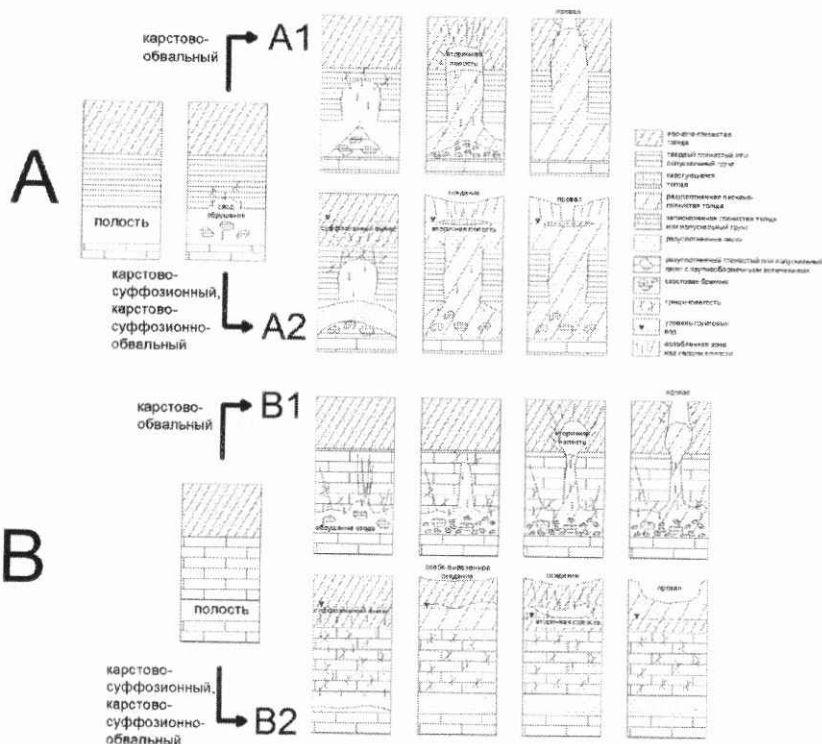


Рис. 1. Общая схема формирования поверхностных карстовых деформаций (пояснения см. в тексте).

Литература

1. Андрейчук В.Н. Провалы над гипсовыми пещерами-лабиринтами и оценка устойчивости закарстованных территорий. Черновцы: Прут, 1999. - 52 с.
2. Аникеев А.В. Провалы и воронки оседания в карстовых районах: механизмы образования, прогноз и оценка риска. Москва: РУДН, 2017. - 328 с.
3. Толмачев В.В., Ройтер Ф. Инженерное карстование. М.: Недра, 1990. - 151 с.
4. Хоменко В.П. Закономерности и прогноз суффозионных процессов. М.: ГЕОС, 2003. - 216 с.
5. Хоменко В.П. Карстовое провалообразование: механизм и оценка опасности // Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах: материалы Международного симпозиума / Под ред. В.Н. Кагаева, Д.Р. Золотарьва, С.В. Щербакова, А.В. Шиловой; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2015. - С. 50-60.