

В.Н АНДРЕЙЧУК,* А. ТЫЦ**

* Доктор геолого-минералогических наук, профессор, Силезский университет (Сосновец, Польша)

Тел. (+48) 501 719 087, e-mail: geo@wnoz.us.edu.pl

** Кандидат географических наук, старший преподаватель, Силезский университет (Сосновец, Польша)

Тел. (+48) 32 368 92 89, e-mail: andrzej.tyc@us.edu.pl

О КАРСТОВЫХ ОПАСНОСТЯХ

Введение

В названии статьи не случайно фигурирует несколько непривычное для русскоязычного специалиста употребление понятия карстовой опасности во множественном числе. В советской (и постсоветской) инженерно-карстологической литературе понятие это ассоциируется, прежде всего, с угрозой провалов и оседаний над подземными пустотами и зонами разуплотнения пород. Отсюда традиционное (и вполне обоснованное) употребление понятия в единственном числе¹. Тем не менее, авторы хотели бы обратить внимание специалистов на множественную природу карстовой опасности, что означает: в районах развития карста существует угроза не только карстовых провалов или оседаний, но и угроза проявления других процессов, непосредственно или опосредованно связанных с карстом, которые также могут привести к неблагоприятным для человека последствиям. Ниже приведена краткая характеристика карстовых опасностей.

Понятие карстовой опасности

Карстовая опасность(и) является разновидностью довольно многочисленной группы земных опасностей (угроз, а также связанных с ними рисков), которые индуцируются космогенными, эндогенными и экзогенными (а также антропогенными-техногенными) процессами (тектоническими, вулканическими, гравитационными, эрозионными, климатическими, гидрологическими, горнодобывающей деятельностью и т.д.), протекающими в земной коре, на ее поверхности и в тропосфере. Общий обзор рисков (в действительности процессов, их индуцирующих) подан, например, в работе В.А. Елкина (2003).

Карстовая опасность или близкое ей понятие *карстовой угрозы* связаны с карстовыми процессами. Развитие карста это, прежде всего, формирование подземных полостей и зон разуплотнения пород, которые считаются главным источником опасности (провальная опасность, опасность деформаций поверхности). По отношению к ним, т.е. создаваемой ими опасности, разработаны многочисленные нормативные документы, оценивающие угрозу (вероятность) провалов, а также предписания, регламентирующие строительство в карстоопасных условиях. В этом ключе карстовая опасность традиционно определяется как «угроза образования в пределах определенной территории за

¹ Так понимают карстовую опасность ведущие инженеры-картологи России и стран СНГ: В.В.Толмачев, И.А.Саваренский, В.П.Хоменко, Н.А.Миронов, В.М.Кутепов, Г.М.Троицкий, В.И.Мартин и многие другие. Ввиду очевидности вопроса ссылки на работы перечисленных специалистов опущены.

заданное время карстовых и (или) карстово-суффозионных провалов и оседаний, которые могут привести к негативным для объектов хозяйства и населения последствиям» (Рагозин, Елкин, 2003).

Классификация карстовых опасностей

Согласно множественному пониманию карстовой опасности, приведенные выше «провальный» (а также «провально-просадочный» и «просадочный») тип представляет собой один из типов опасностей, относящийся к группе *гравидинамических* опасностей (рис. 1). Опасности этой группы индуцируются гравитационными процессами. Другая группа опасностей – *гидродинамические* обусловлена процессами циркуляции вод под землей и резкими изменениями режима водообмена. Обе группы опасностей проявляются как под землей, так и на ее поверхности (Andreychouk, Tус, 2005) и часто генетически (причинно-следственно) взаимосвязаны.

Среди гравидинамических опасностей *на поверхности земли* можно выделить процессы оседания, провальные процессы, а также гравитационные смещения масс на склонах карстовых форм (карстовые оползни). *Под землей* угрозу несут себе процессы блочного обрушения сводов, смещения консолидированных масс отложений, а также внезапного внедрения рыхлых масс перекрывающих отложений. Гидродинамические опасности *наземной подгруппы* связаны с затоплением карстовых депрессий подземными водами (например, наводнения в полях), иссушением карстовых источников, внезапным исчезновением карстовых озер или быстрым опустошением искусственных водоемов (пруды, водохранилища и т.д.). *Под землей* угрозу представляют внезапные прорывы карстовых вод в подземные полости или горные выработки, а также затопление пещер, связанное с ливневыми осадками на поверхности.

Отмеченные выше типы опасностей неоднократно «реализовывались» в карстовых районах и влекли за собой человеческие потери, а также наносили значительный хозяйственный ущерб. Как правило, большинство из них характеризуется внезапностью и быстротой проявления, что существенно затрудняет их прогноз и принятие превентивных мер. Встречаются среди них также процессы медленно протекающие, которые также со временем могут приобретать угрожающий характер, например, внедрение (подтягивание) соленых морских вод в пресноводный водообеспечивающий карстовый горизонт (засоление), прогрессирующее загрязнение карстовых вод и другие (Andreychouk, Tус, 2005; Parise, Gunn, 2007, и др.).

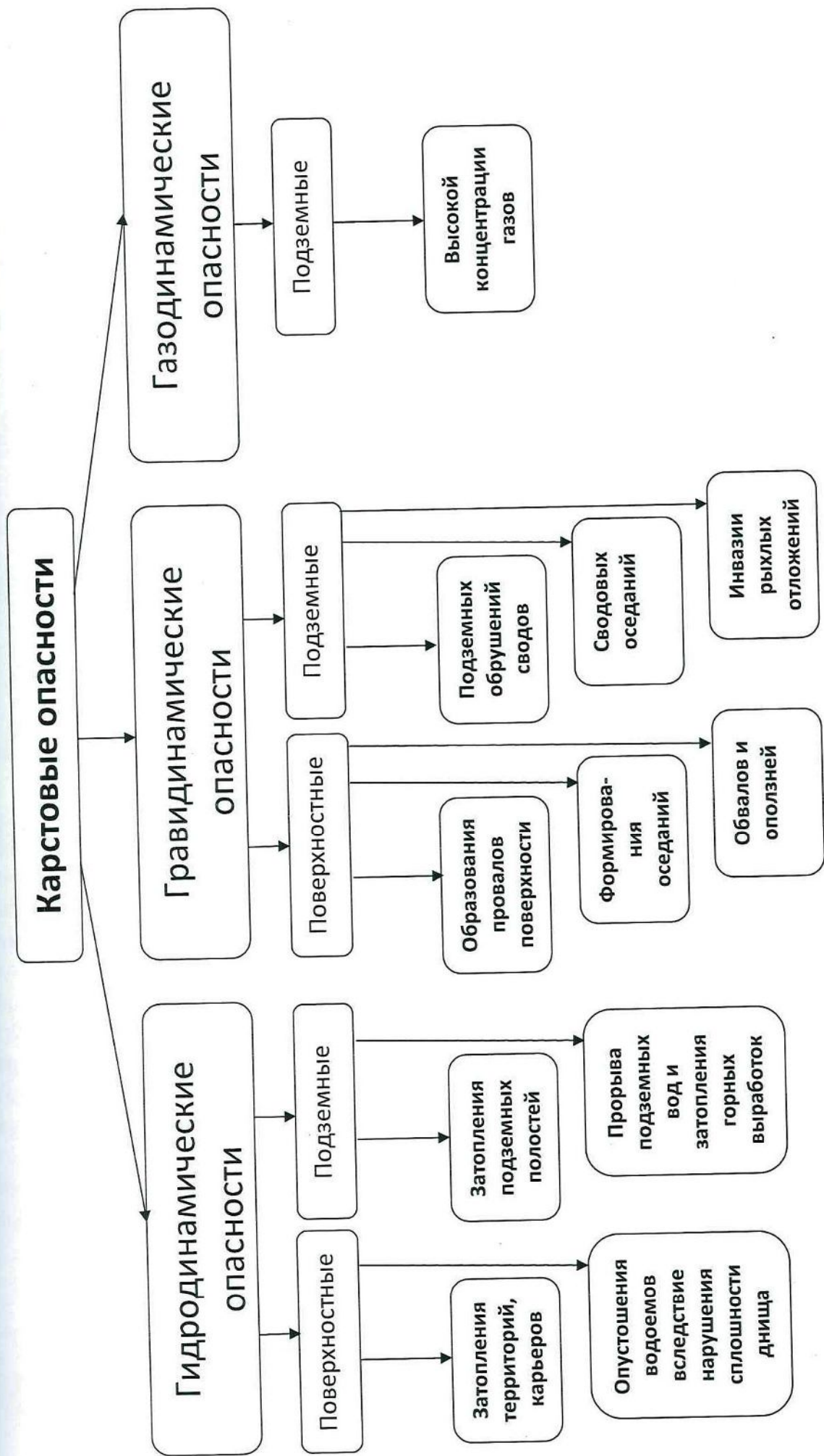


Рис. 1. Классификационная схема главных карстовых опасностей.

Еще одну – третью группу опасностей – несколько более экзотичную, чем предыдущие, составляют *газодинамические* опасности. Они связаны с накоплением в подземных полостях углекислого и др. газов в концентрациях представляющих угрозу для жизни человека.

Гравидинамические опасности

Обрушение пород в подземные полости и возникновение провалов представляющей собой наиболее распространенную и серьезную из всех карстовых опасностей. Она является имманентной особенностью² закарстованных территорий. Следы провалов поверхности в виде разной величины впадин встречаются в карстовых районах повсеместно. В некоторых случаях – и это дает представление о размерах явления и потенциальной угрозе – инициирующие провалы полости, а также провальные формы измеряются десятками миллионов м³ (например, знаменитые провальная шахта и пропасти на Балканах, колодцы карстовых районов Южной Китая – т.н. *тянькенг* или Саравака в Малайзии). Очень крупные провалы (объемом более 100 000 м³), в отличие от небольших, случаются в естественных условиях довольно редко (до нескольких в год в масштабе всей планеты). Однако в последние десятилетия наметилась явная тенденция учащения провалов и их «укрупнения» в связи с хозяйственной деятельностью человека, особенно горнодобывающей, сопровождающейся резким нарушением подземного водообмена. Наиболее крупные известные провалы последних лет – это техногенно-индуцированные провалы (Андрейчук, 1996, Waltham *et al.*, 2005, и др.)³. Причем происходят они нередко также вне пределов карстовых территорий, если антропогенная деятельность сопряжена с целевым или сопутствующим формированием подземных полостей (выработки и т.д.).

Антропогенно-стимулируемые провальная явления происходят, чаще всего по причинам обезвоживания покровных толщ над карстующимися породами полостями (откачка подземных вод), а также коррозионного расширения существующих и формирования новых полостей (вследствие активизации водообмена). Их размеры варьируют в пределах от нескольких до сотен метров диаметре и по глубине и определяются размерами инициирующих полостей составом и строением покровных толщ, а частота их появления – мощностью покрова, гидродинамическим режимом толщи и др. причинами (Тус, 1999; Paris Gunn, 2007; Waltham *et al.*, 2005). Примерами хорошо известных и неплохо изученных случаев могут быть: в России – Березниковский провал 1986 года в Верхнекамском месторождении калийных солей, а за ее пределами – провал Зимнем Парке (Winter Park Area) на Флориде (Beck, 2005; Waltham *et al.*, 2007; Ford, Williams, 2007). В первом случае объем возникшей формы составил 550 000 м³ (Андрейчук, 1996, 2002), во втором 150 000 м³ (Waltham *et al.*, 2005).

² Исключение составляют случаи мелового, естественного соляного карста, а также карста в плохо растворимых породах – мелкослоистых, глинистых известняках и т.д., когда подземные полости не развиваются или незначительны по своим размерам.

³ Научная литература, в том числе русскоязычная, изобилует примерами на этот счет. Авторы сознательно не упоминают их ввиду общеизвестности вопроса.

Ввиду существенно большей растворимости сульфатных пород, значительно более существенную провальную опасность представляют карстовые процессы в гипсах и ангидридах. На территориях, «пораженных» сульфатным карстом, плотность постпровальных карстовых форм достигает иногда сотен шт./км², а частота провалов 1-3шт./год (Андрейчук, 1999). В условиях техногенной активизации сульфатного карста, пораженность территории провалами, а также интенсивность провалообразования возрастают в несколько раз, превращая земную поверхность в своеобразный «карстовый бедленд» (например, в районах подземной выплавки серы в гипсовом карсте Западной Украины, на отдельных участках Олькушского горнодобывающего региона в Польше и т.д.) (рис. 2).

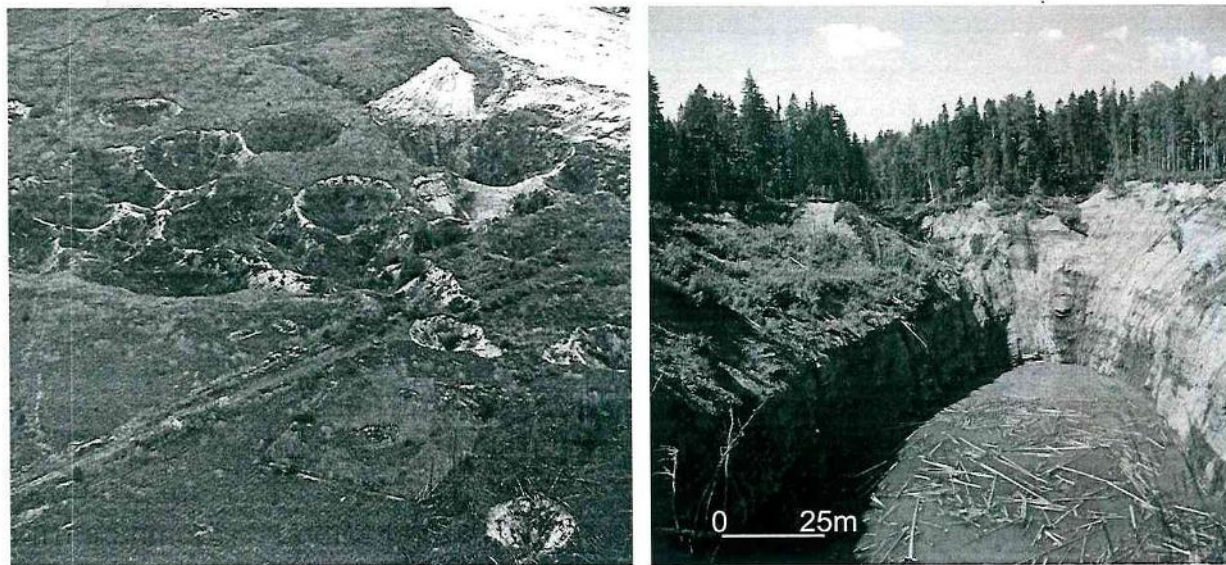


Рис. 2 (левый). Провальные формы в районе Олькушского свинцово-цинкового месторождения в Южной Польше – пример карстового бедленда (фото М. Добжанского).

Рис. 3 (правый). Крупный провал над выработками крупнейшего в мире калийного рудника в районе Березников, Приуралье, Россия (фото В. Андрейчука).

Необыкновенно большую опасность представляет техногенная активизация подземного водообмена в районах развития соляного карста, например, при добыче каменной соли методом подземного растворения или на шахтных месторождениях калийных солей. Проникновение рассолов, а затем и пресных подземных вод в горные выработки и камеры в солях, приводит к быстрому коррозионному увеличению размеров антропогенных полостей и в конечном итоге – провалу, с сопутствующим затоплением выработок. Практика показывает, что вопрос формирования полостей и провалов на соляных месторождениях с подземной добычей, в особенности калийных солей, это лишь вопрос времени. В России наиболее известными примерами подобного рода являются провалы на соляных рудниках Верхнекамского месторождения (рис. 3) (Андрейчук, 1996).

Обрушения сводов полостей в карстовых (или некарстовых горнодобывающих) районах имеет, как правило, быстрый и трудно предсказуемый характер, что значительно усиливает их опасность. Кроме того, провальный процесс, особенно в случае крупных провалов, часто сопровождается

«кустом» физических явлений (акустических, пневматических, сейсмических, гидродинамических), которые могут усиливать неблагоприятные последствия обрушений земной поверхности (Андрейчук, 1994). Особенно значимой ветвью куста являются сейсмические колебания, возникающие при провалах (*induced seismicity*).

Другой тип гравидинамических опасностей образуют явления *оседания земной поверхности* под влиянием процессов, происходящих под землей как в карстующихся породах, так и в перекрывающих их образованиях (медленное полостеобразование, суффозионные процессы). Как известно, в случае оседаний, сплошность пород нарушается в значительно меньшей степени, чем в случае провалов. Ввиду медленного (в естественных условиях – эволюционного) характера, оседания существенно менее опасны для сооружений, чем провалы. Однако техногенная деятельность, а также сами сооружения, могут значительно ускорять процесс оседания поверхности, создавая непосредственную угрозу самим сооружениям и их окружению (рис. 4).

В карстовых районах медленные оседания поверхности связаны, как правило, с растворением карстующихся пород, залегающих на некоторой глубине от поверхности (линзы гипсов среди карбонатных пород, верхушки соляных куполов и т.д.). О таких процессах на поверхности свидетельствуют разной величины впадины, часто заполненные водой. Такие (вековые) оседания неопасны. Большую опасность представляют оседания, связанные с суффозионными процессами. Процессы эти, как известно, весьма сложны и разноплановы (см. например, Хоменко, 2003). Их течение предопределяется многими условиями-факторами и в зависимости от сочетания последних, сопутствующие им (или являющиеся следствием) процессы оседания приобретают тот или иной по скорости и масштабу характер. По сравнению с провальными процессами, однако, оседания, даже техногенно-индуцированные, менее опасны и более предсказуемы. Их можно без особого труда предвидеть и учесть при выработке стратегии действий (профилактических, утилизационных и т.п.), имеющих целью уменьшение потенциального ущерба.



Рис. 4. Крупномасштабные оседания поверхности в пределах населенного пункта над выработками в калийных солях. Окрестности г. Калуш, Западная Украина (фото В. Андрейчука).

Поверхностные карстовые формы, особенно провального генезиса, и особенно – крупные, являются благоприятной средой для проявления *склоновых гравитационных процессов*, прежде всего - *обвалов и разного рода оползней*. В случае небольших форм, процессы движения масс пород на их склонах, особенно после периода постпровальной стабилизации склонов, имеют незначительную интенсивность. В покрытом карсте, когда борта воронок и котловин сложены рыхлыми покровными образованиями, выположены и задернованы, склоновые процессы резко замедляются. Ситуация резко меняется при наличии в днищах форм дренирующего понора, а тем более ручья или потока, им поглощаемого. Постоянный подмыв склона и механический вынос материала поддерживает склоны в нестабильном состоянии и провоцирует периодическое оползание грунта в понор (рис. 5). Подобные карстовые оползни широко развиты, например, в районах покрытого гипсового карста Западной Украины, где их площадь, в ряде случаев, измеряется гектарами. Карстовые оползни этого типа локализованы и, как правило, малоопасны (нарушение земель и пастбищных угодий). В случае закупорки понора оползневыми массами может иметь место подтопление территории, образование эрозионных каналов стока, заболачивание и т.д.

Гораздо бóльшую опасность представляют собой блоковые (скальные, массивные и т.д.) оползни, встречающиеся в районах горного известнякового карста. Причем речь идет не об обвалах краев колодцев или шахт (что составляет отдельный, но в целом малозначимый элемент карстовых угроз), а именно об оползнях, возникающих при специфическом (не так уж редком) сочетании

геолого-геоморфологических обстоятельств. Например, когда слоистые (реже массивные) известняки содержат прослой глинистых пород (сланцев, аргиллитов, служащих при определенных условиях наклона пластов и морфологии карст зеркалами скольжения. Во время ливневых дождей, осадки фильтруются сквозь карбонатные породы и достигая глинистого прослоя задерживаются на нем. При отсутствии (или слабости, блокаде и т.д.) подземного дренажа, размокание основания, а также боковое давление воды могут привести скальный массив (повыше водоупорного слоя) в движение – в сторону днища карстовой котловины (депрессии, поля). Нечто подобное произошло в 1963 году в Южных Альпах когда смещение скальной массы в искусственный водоем, заполняющий карстовую депрессию, привело к разрушению дамбы (окрестности Вайонт) и повлекло за собой человеческие жертвы (почти 2000 человек) (рис. 6). Процессу «сдвигения» масс скальных пород в горном карсте могут способствовать и землетрясения⁴.



Рис. 5 (левый). Оползневые склоны на карстовом участке, дренируемым крупным карстовым понором. Окрестности с. Кадубивцы, Буковина, Западная Украина (фото В. Андрейчука).
Рис. 6 (правый). Гигантский скальный оползень на склоне г. Тоц, возникший в результате контактного карстового дренажа и приведший к разрушению плотины и водохранилища Вайонт в Южных Альпах (фото А. Тыца).

Землетрясение в окрестностях Бовец в 1998 году (карстовый массив Канин, Восточные Альпы, Словения) индуцировало крупные скальные оползни и скальные лавины на крутых известняковых склонах.

В случае *подземных* гравидинамических опасностей наибольшую угрозу представляют периодические обрушения сводов подземных полостей, а также внезапные «инвазии» рыхлого материала покровных отложений, часто разжиженного. Обрушения сводов в подземных полостях не так уж редки⁵, особенно в случаях, когда полости связаны с поверхностью (пещеры) и

⁴ Ввиду сложности карстового рельефа, его нарушенности провальными формами, обрывами, наличия подземных полостей и т.д., карстовые массивы в целом характеризуются повышенными напряжениями, неравновесностью, и как следствие, подверженностью гравитационным, в том числе склоновым, процессам.

⁵ Например, в Кунгурской ледяной пещере в Приуралье ежегодно фиксируются десятки обвалов, из которых несколько довольно крупных. Обвалов не зафиксированных наверняка происходит в несколько раз больше.

подвержены воздействию процессов выветривания (располагаются в зоне сезонных колебаний температур). Активность (частота) обвалов зависит от многих причин геологического (литология, слоистость, трещиноватость-блочность пород, сейсмичность района), морфологического (размеры и форма полостей), микроклиматического (колебания температуры воздуха и влажности, замерзание-таяние воды и льда в трещинах) и прочего (техногенное влияние) и т.д. характера.

В покрытом карсте, когда карстующиеся породы перекрыты толщей слабо-или несцементированных отложений, часто обводненных, а полости располагаются в контактной с покровом части, может иметь место внедрение рыхлых масс (обычно после обрушения скальной перегородки) в полости, ведущее к их частичному или полному заполнению, особенно в случае разжижения материала (подземный сель). Частым явлением являются нисходящие подвижки материала обвально-осыпных труб в пещерах. Если в процессе принимает участие вода, способствующая скольжению масс вдоль стенок труб, в полости может внедриться значительное количество материала. Во время пребывания автора в 1986 году в пещере Золушка (Западная Украина) на его глазах произошла такая подвижка, приведшая к выдавливанию в пещеру нескольких сотен кубометров материала покровных отложений и образованию временного подземного озера – за счет дренирования водоносного горизонта в террасовых отложениях (над перекрывающими гипсы глинами).

Обе отмеченные угрозы представляют собой определенную опасность для спелеологов, изучающих пещеры, а в случае экскурсионных пещер – для экскурсантов и подземного оборудования.

Гидродинамические опасности

Затопление территорий и карстовых форм является характерной природной опасностью многих карстовых регионов, особенно с близким к поверхности залеганием карстовых вод. Ввиду хорошей разработанности карстовых каналов, и как следствие высокой водопроницаемости подземной сети, обильные дожди, как, например, в Южном Китае, часто приводят к переполнению подземных резервуаров и «выливаю» излишков вод на поверхность, с затоплением полей и деревень⁶. В зрелом известняковом карсте, изливание карстовых вод на поверхность часто имеет место в крупных карстовых депрессиях – полях. Оно приводит к их затоплению (вместе с полями, дорогами и прочей хозяйственной инфраструктурой) и превращению на определенное время в озера, площадью от нескольких - до нескольких десятков км². Лодки при домах (на случай наводнения) – в селениях, расположенных по окраинам полей – характерный элемент деревенского ландшафта средиземноморских (и не только) карстовых районов. Подобные карстовые наводнения предсказуемы метеорологически, поскольку связаны с обильными или ливневыми осадками.

Особой разновидностью карстовых наводнений является *затопление карьеров* в результате вскрытия водообильного горизонта или прорыва напорных

⁶ Опасность эта имеет, правда, условный характер как таковая, поскольку для рисовых полей вода является благом, а сама опасность скорее ожидается и приветствуется, чем создает угрозу.

карстовых вод (при углублении выработки, например). Чаще всего, процесс этот имеет этапный характер и связан с прогрессирующим освобождением заполненных отложениями карстовых каналов (суффозия) или же с коррозионным расширением трещин и каналов (в случае легкорастворимых пород). С определенного момента водопритоки в карьер увеличиваются по нарастающей, мощности откачивающих насосов уже не хватает и карьер превращается в глубокое озеро. Так случилось, например, с Николаевским карьером по добыче цементных глин на Львовщине в 80-х годах прошлого века, когда прорыв вод из подстилающих глины гипсов привел к его быстрому заполнению. Как правило, угроза затопления подобных объектов возрастает по мере удлинения срока их эксплуатации (промыв закольматированных полостей и прогрессирующее увеличение водопритока).

Гораздо более опасной и практически непредсказуемой является другая гидродинамическая опасность карстовых областей – *внезапное опустошение водоемов* (естественных или искусственных), связанное с образованием в их днищах карстовых провалов или «раскупоркой» закольматированных поноров и трещин. Подобные явления довольно часты в районах покрытого карста. Они могут быть связаны с естественным (суша) или искусственным (откачка, дренаж) водопонижением, а в случае подвешенных водоемов – с резким (провал) или «подготавливаемым» (размыв, разуплотнение) формированием путей утечки вод под землю. В зависимости от величины дренирующих путей, а также объема воды в водоеме, процесс его опустошения может измеряться минутами, часами, иногда днями. Как правило, после ухода воды можно без труда диагностировать его причины (рис. 7). Утечки воды из водоемов представляют собой довольно серьезную опасность и могут нанести серьезный хозяйственный ущерб.

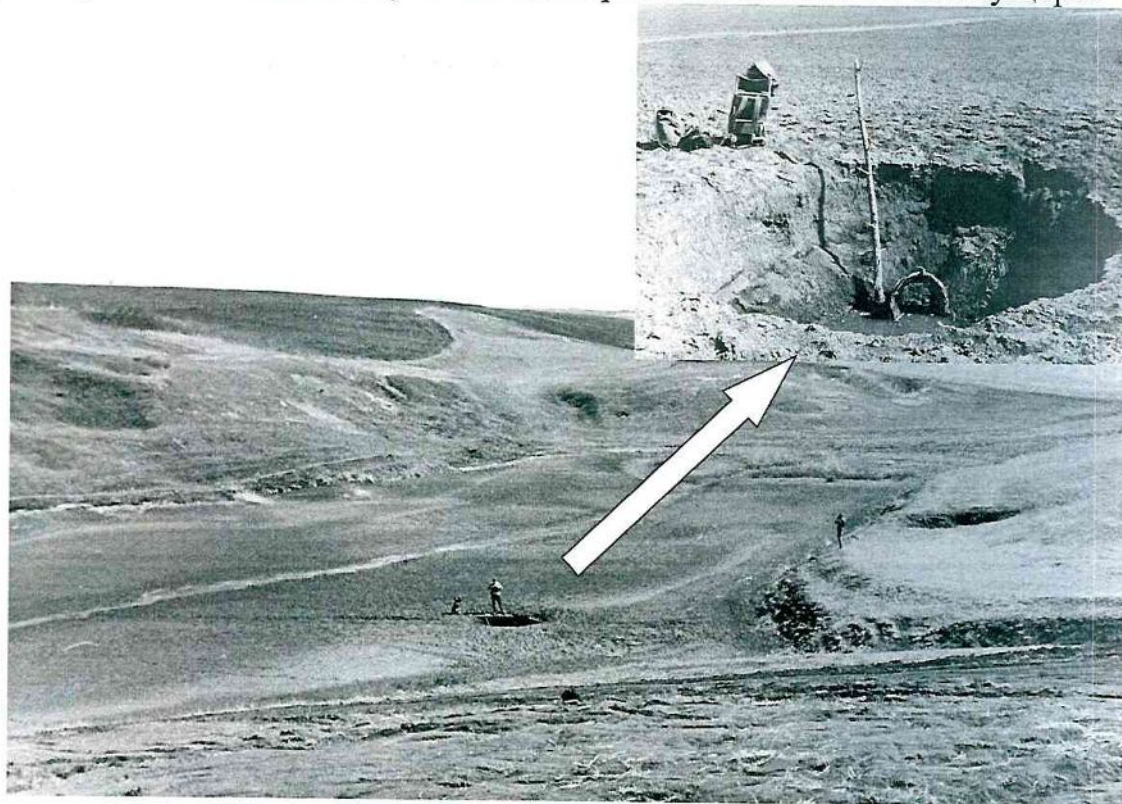


Рис. 7. Днище опустошенного в результате провального дренажа пруда, Буковина, Западная Украина (фото В. Андрейчука).

Большую опасность представляет *резкий подъем воды в подземных полостях*, в особенности в глубоких вертикальных шахтах известняковых карстовых массивов (например, Альп, Кавказа, Пиренеев и т.д.). Такие подъемы случаются после ливневых дождей в горах, когда дренирующая карстовая система не справляется с пропуском больших количеств дождевых вод, концентрирующихся в ней на определенной глубине. Подъем достигает обычно нескольких десятков, в редких случаях – сотен метров, создавая непосредственную угрозу для пребывающих в ней людей, спелеологов, чаще всего. Процесс затопления с определенного момента (закупорки главных каналов) происходит очень быстро (что называется «на глазах»). Эвакуация же из пределов затопляемой зоны часто представляется невозможной или технически трудновыполнимой в короткое время. В истории спелеологии, к сожалению, отмечено много подобных случаев, в том числе, со смертельным исходом. Разновидностью данной опасности является затопление галерей горизонтальных пещер в т.н. мелком или равнинном карсте. Оно может происходить как вследствие общего повышения уровня карстовых вод, так и вследствие локальных событий (концентрация воды в долиненной форме с поглощающим понором). В случае экскурсионных пещер, подземные наводнения могут вывести из строя подземное оборудование и нарушить нормальный режим функционирования объекта (на более короткое время – пока спадет уровень воды или на более длительное, если необходимы восстановительные работы – чистка троп, замена электрических приборов и освещения и т.д.).

Также *прорывы карстовых вод в горные выработки* представляют собой серьезную угрозу для людей и шахтного оборудования. Случаются они в районах, где карстующиеся породы или сами являются полезным ископаемым или, что чаще, вмещают или непосредственно соседствуют с продуктивными толщами или рудными телами (бокситовые, свинцово-цинковые, никелевые, железорудные месторождения, месторождения гипса и солей и т.д.). Примерами месторождений, в пределах которых прорывы карстовых вод часто имеют место могут служить: Кизеловский угольный бассейн, Североуральский бокситоносный район, Березниковское месторождение калийных солей - в Уральском регионе России, Олькушское месторождение полиметаллов в Польше (Тус, 1999; Andreychouk, 2002) и др. Особенно опасны интрузии карстовых вод при техногенном вскрытии (в процессе добычи полезного ископаемого) обводненных полостей и зон (рис. 8), а также прорывы вод при сооружении тоннелей.

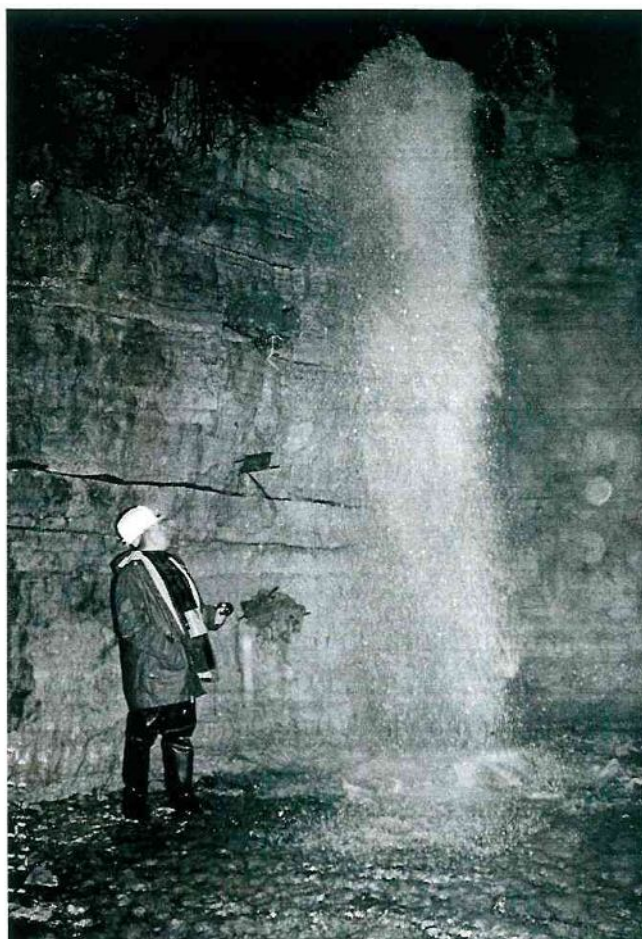


Рис. 8. Крупный водоприток из вскрытой закарстованной трещины в горной выработке на Олькушском свинцово-цинковом месторождении, Южная Польша (фото Й. Яцковского).

Газодинамические опасности

В подземных полостях, особенно в случае их замедленного обмена воздухом с поверхностью (или даже отсутствия обмена) часто происходит накопление газов, прежде всего, углекислого. Источниками углекислоты служат процессы окисления органического материала отложений, деятельность микроорганизмов хемосинтетиков, почвенные процессы, а также приток газов с более глубоких горизонтов земной коры. Как правило, в пещерах концентрация CO_2 превышает его содержание в атмосферном воздухе в несколько – до нескольких десятков раз, а в отдельных случаях – в сотни и тысячи раз, достигая 5-10%. Последние концентрации представляют угрозу не только здоровью, но и жизни людей, составляют суть *газодинамической опасности* в карсте. Известны случаи смертельной углекислотной интоксикации людей, связанные с посещением пещер (Андрейчук, Телешман, Куприч, 2011). Значительную угрозу для здоровья людей особенно в случае их частого или длительного пребывания под землей представляет радон, проявляющий отчетливую тенденцию к накоплению в подземных полостях, а также в подвальных помещениях жилых построек карстовых (и не только) районах.

Выводы

Районы карста и карстовая среда являются носителями целого ряда опасностей, угрожающих здоровью и жизни людей, а также функционированию хозяйственных и прочих сооружений. Понятие карстовой опасности, традиционно понимаемое как угроза образования провалов и оседаний, следует расширить, включая в него прочие опасности, как-то: гравидинамические (провалов, оседаний, обвалов, оползней), гидродинамические (подтопления территорий, затопления шахт, карьеров и пещер, опустошения карстовых водоемов) и газодинамические (отравления газами). Следует осуществить аналитическую проработку образующих группы типов опасностей (за исключением провалов и оседаний) с целью выработки соответствующих рекомендаций и нормативов, направленных на оптимизацию взаимодействия человека с карстовой средой.

Список литературы

- Андрейчук В.Н.. Березниковский провал. Изд-во УрО РАН. - Пермь, 1996.
- Андрейчук В.Н. Об эффектах сопровождающих провалы //Карстовые провалы. Екатеринбург, 1994.
- Андрейчук В.Н. Провалы над гипсовыми пещерами-лабиринтами и оценка устойчивости закарстованных территорий. - Черновцы, 1999. - 52с.
- Андрейчук В., Телешман И., Куприч П.. Пространственно-динамические особенности распределения CO₂ в воздухе пещеры Золушка // Спелеология и карстология. - Симферополь. 2011. - № 7.
- Елкин В.А. Генетическая классификация природных рисков //Оценка и управление природными рисками. Москва, 2003.
- Рагозин А.Л., Елкин В.А. Алгоритм региональной оценки карстовой опасности //Оценка и управление природными рисками. Москва, 2003.
- Хоменко В.П. Закономерности и прогноз суффозионных процессов. Москва, 2003.
- Andreychouk V. Collapse above the world's largest potash mine (Ural, Russia)// International Journal of Speleology, 200231(1-4).
- Andreychouk, V., Тус, А. Hazards and risks in karst terrains – definitions and classification // Geophysical Research Abstracts, 2005. Vol. 7, 10080.
- Beck, B.F. (ed.). Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst // Geotechnical Special Publication 144, American Society of Civil Engineers, 2005.
- Ford, D., Williams, P.,. Karst Hydrogeology and Geomorphology. - Chichester, 2007.
- Klimchouk, A., Andreychouk, V. Breakdown development in cover beds and landscape features induced by interstratal gypsum karst //International Journal of Speleology, 23(3-4). 1996.
- Parise, M., Gunn, J., (eds).. Natural and Anthropogenic Hazards in Karst Areas: Recognition, Analysis and Mitigation // The Geological Society of London, Special Publication, vol. 279, 2007.
- Тус, А. Collapse and piping induced by human activity in the Olkusz lead-zinc exploitative district of the Silesian Upland, Poland // Karst Hydrogeology and

Human Activities: Impacts, Consequences and Implications. Rotterdam: A.A. Balkema, 1999.

Waltham, T., Bell, F. Culshaw M., (eds). Sinkholes and Subsidences: Karst and Cavernous Rocks in Engineering and Construction. - Chichester, 2005.