

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 551.442

DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2020-4(136-141)

Н.В. ЛАВРОВА, М.В. БОГОМАЗГорный институт УрО РАН,
614007, Пермь, ул. Сибирская, 78А, Россия, nlavrova08@mail.ru; icecave@mi-perm.ru

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ПРОВАЛЬНЫХ ЯВЛЕНИЙ В НИЖНЕСЫЛВИНСКОМ КАРСТОВОМ РАЙОНЕ (ПРЕДУРАЛЬЕ) В ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

Приведены результаты наблюдений за мгновенными экзогенными преобразованиями — провалами земной поверхности в районах распространения легкорастворимых отложений. Поверхностные и подземные карстовые формы на границе Восточно-Европейской платформы и Предуральского прогиба, а также вдоль склонов северного окончания Уфимского плато в пределах Пермского края представляют собой объекты мониторинговых наблюдений, которые проводятся Кунгурской лабораторией-стационаром с 1952 г. Представлены морфометрические показатели карстовых провалов и воронок, рассмотрены особенности их распространения в зависимости от элементов рельефа. Приведены площадные и временные количественные показатели образования провальных явлений на примере Нижнесыльвинского карстового района. Определена роль ископаемых рифовых построек в иницировании карстовых процессов в карбонатно-сульфатных толщах кунгурского яруса пермской системы в нижнем течении р. Сылвы (приток р. Чусовой). Выявлено, что сосредоточение движения подземных вод локальных водоносных горизонтов в структурах облекания не только сверху, но также снизу и сбоку по отношению к сульфатной толще ускоряет процессы растворения сульфатных пород, расположенных на небольшом удалении по контуру ископаемого рифа. Отмечается увеличение роли антропогенного воздействия в развитии опасных геологических процессов — карстовых и карстово-суффозионных провалов на урбанизированных территориях. Зафиксировано образование повторных провалов на месте первоначальных, даже в случае проведенных мероприятий по их ликвидации. Рассмотрены особенности развития множественных провалов над гротами Зуятской пещеры.

Ключевые слова: повторные провалы, поверхностные карстовые формы, структуры облекания, ископаемая рифовая постройка, спелеосистема.

N.V. LAVROVA, M.V. BOGOMAZMining Institute, Ural Branch, Russian Academy of Sciences,
614007, Perm, ul. Sibirskaya, 78A, Russia, nlavrova08@mail.ru, icecave@mi-perm.ru

CHARACTERISTICS OF THE DEVELOPMENT OF COLLAPSE PHENOMENA IN THE LOWER SYLVA KARST AREA (PRE-URAL REGION) IN RECENT DECADES

Presented are the results of observations of instantaneous exogenous transformations, i.e. funnel-shaped depressions in terrestrial surface occurring in areas of occurrence of readily soluble deposits. The surface and underground karst forms at the border of the East-European Platform and the Pre-Ural Trough as well as along the slopes of the northern end of the Ufa Plateau within Perm krai are objects of monitoring observations conducted by the Kungur inpatient laboratory since 1952. Morphometric indicators of karst dips and sinkholes are presented. The special features in their distribution are considered depending on topographic elements. Areal and temporal quantitative indicators of the formation of collapse phenomena are presented by using the Lower Sylva karst region as an example. The role of fossil reef structures in the initiation of karstic processes in the carbonate-sulfate strata of the Kungur stage of the Permian system in the lower reaches of the Sylva river (tributary of the

Chusovaya river) is determined. It was found that the concentration of the movement of groundwater of local aquifers in the draping structures not only from above but also from below and from the side with respect to the sulfate layer accelerates the dissolution processes of sulfate rocks located at a small distance along the contour of the fossil reef. An increase in the role of anthropogenic impact in the development of hazardous geological processes: karst and karst-suffusion dips, in urbanized areas is observed. The formation of recurring collapses on the initial site even in the case of measures taken to eliminate them is recorded. The special features of the development of multiple dips above the grottoes of Zuyatskaya cave are considered.

Keywords: recurring collapses, superficial karst forms, structures of draping, fossil reef structure, spelecosystem.

ВВЕДЕНИЕ

Экзогенные процессы непрерывно преобразуют земную поверхность. Среди них выделяются провалы, обвалы, осыпи, оползни и т. п., которые мгновенно видоизменяют ландшафты. Как правило, данные процессы проявляются редко, захватывают небольшие площади, однако очень часто приводят к катастрофическим последствиям, особенно на застроенных территориях. Не случайно в нормативных документах количество провалов определяет категорию устойчивости территорий распространения карстующихся пород.

Провалы — наиболее часто встречающиеся формы опасных поверхностных проявлений карстовых процессов в области распространения легкорастворимых отложений Предуралья. Генетические и морфометрические особенности, необходимые геологические, гидрогеологические и геоморфологические условия для образования провалов в Пермском крае достаточно полно описаны и представлены в работах Г.А. Максимовича, К.А. Горбуновой, В.С. Лукина и др. [1–9]. Мониторинговые наблюдения позволяют дополнить изученные особенности развития карстовых процессов и существенно уменьшать риски последствий образования провалов. В данной работе приводятся результаты наблюдений за последние десятилетия.

ОБЪЕКТЫ МОНИТОРИНГОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

В настоящее время к районам, где карстовый процесс в различных его проявлениях и на различных глубинах имеет потенциальные условия развития, некоторые исследователи относят более 90 % территории Пермского края [10]. Кунгурская лаборатория-стационар фиксирует случаи образования провалов на границе Восточно-Европейской платформы и Предуралья, а также вдоль склонов Уфимского плато с 1952 г. Карст здесь проявляется преимущественно в гипсах и частично в карбонатных породах кунгурского яруса пермской системы. Он относится к задернованному подэлювиальному [11]. Область распространения сульфатных отложений выделяется количеством и разнообразием подземных и поверхностных карстовых форм. Основными элементами карстового рельефа представляют собой воронки, средняя плотность которых, по данным геоморфологической съемки, проведенной В.С. Лукиным и др. в 1956 г. [11], составляет от 10 до 50 на 1 км². Карстовые впадины в области гипсоангидритовых отложений часто отличаются грандиозными размерами — до 100 м и более в поперечном сечении при глубине до 20 м. Отмечается большое количество карстовых озер и заболоченных впадин.

Распространение и характер карстовых явлений на обследованной территории различаются не только в зависимости от литологического состава горных пород, но и от рельефа местности. Так, высокие надпойменные террасы относятся к области, где количество воронок составляет от 10 до 50 на 1 км². На склоне долины рек их число возрастает до 100 на 1 км² [12].

В большинстве своем воронки представляют собой результат развития провалов — мгновенного обрушения перекрывающих отложений при вскрытии подземных полостей и дальнейшего их преобразования. В области гипсоангидритовых отложений кунгурского яруса, распространенных в Нижнесылвинском карстовом районе, выделенном в нижнем течении р. Сылвы (самый крупный приток р. Чусовой) в восточной части Кунгурского административного района, провалы происходят над тектоническими трещинами, трещинами разгрузки, карстовыми и суффозионными полостями и другими естественными пустотами, а также горными выработками.

Большой интерес представляет распределение провалов в пределах обследованной территории и приуроченность их к тем или иным элементам рельефа. На геоморфологической карте Нижнесылвинского карстового района можно отметить, что преимущественно они располагаются по склонам речных долин и логов. Половина всех провалов относится к поверхности террас и столько же — к склонам, хотя последние занимают значительно меньшую площадь (рис. 1).



Рис. 1. Схематическая геоморфологическая карта Кунгурского района (составлена В.С. Лукиным, 1956 г., не опубликована, дополнена авторами).

1 — карстовые провалы; 2 — пещеры; участки с плотностью карстовых воронок, на 1 км²: 3 — 1–10, 4 — 10–50, 5 — 50–100, 6 — >100. 7 — структурно-поисковые скважины.

В настоящее время в базе данных опасных геологических процессов на территории района зафиксировано более сотни провалов. Большая часть из них связана с карстово-суффозионными процессами и антропогенной деятельностью — утечками воды из водонесущих коммуникаций, зарегулированными поверхностным стоком дождевых и талых вод и др. В этом случае развитие провального процесса происходит быстро, и его в отдельных случаях можно достаточно точно спрогнозировать.

Формирование карстовых полостей обусловлено комплексом гидрогеологических и геоморфологических условий на локальных участках. Случаи образования провалов непосредственно над карстовыми пустотами без влияния деятельности человека позволяют моделировать развитие карстовых процессов в конкретных инженерно-геологических условиях от инициирования полости до обвала перекрывающих отложений. В данной статье рассмотрены условия формирования в последние десятилетия трех крупных собственно карстовых провалов на водоразделе рек Сылвы и Мечки, расположенных на небольшом удалении друг от друга вдаль от сельских поселений. Как правило, момент обрушения удается зафиксировать крайне редко, свежие провалы обнаруживаются случайно. Время образования представленных провалов определено с точностью до полугода.

В 1985 г. в с. Родионово произошел крупный провал диаметром 20 м и глубиной 15 м [13]. На момент образования он вскрывал полость длиной 120 м, в настоящее время недоступную. В 2016 г. в районе с. Зарубино описан провал № 243 с поперечником 11 м и глубиной 17 м [14]. В 2018 г. в

районе уже несуществующего с. Родионово произошел провал № 253, поперечник которого составляет 10 м и глубина 18 м.

При построении карты мощности сульфатных отложений по данным бурения структурно-поисковых скважин в районе произошедших провалов выявлены особенности их залегания. На отдельных участках при субгоризонтальном залегании сульфатных пород иренского горизонта непосредственно

под рыхлыми перекрывающими отложениями на глубине 10–20 м вскрыты карбонатные породы филипповского горизонта, подстилающего карбонатно-сульфатные отложения. Это свидетельствует о развитии здесь структур облекания над пермскими рифовыми постройками. Другими словами, сульфатные отложения над рифовой постройкой отсутствуют, а оконтуривают ее на сравнительно небольшом удалении.

Как правило, при описании динамики подземных вод подразумевается практически однородное движение к дрене от водораздела. В районе ископаемых рифов, где угол падения слоев в отдельных случаях может достигать 30° , происходит сосредоточение движения вод по отдельным мелким водоносным слоям и горизонтам. В этом случае слабоминерализованные (агрессивные к гипсу) подземные воды поступают не только сверху, но также снизу и сбоку по отношению к сульфатной толще, расположенной на небольшом удалении по контуру рифовой постройки [15]. В результате происходит интенсивное растворение сульфатных отложений, способствующее развитию провальных процессов (рис. 2). Таким образом, внутриформационные изменения в залегании пластов карбонатно-сульфатных отложений иренского горизонта в пределах Нижнесылвинского карстового района проявляются на поверхности в виде провалов и представляют собой один из признаков развития опасных геологических процессов.

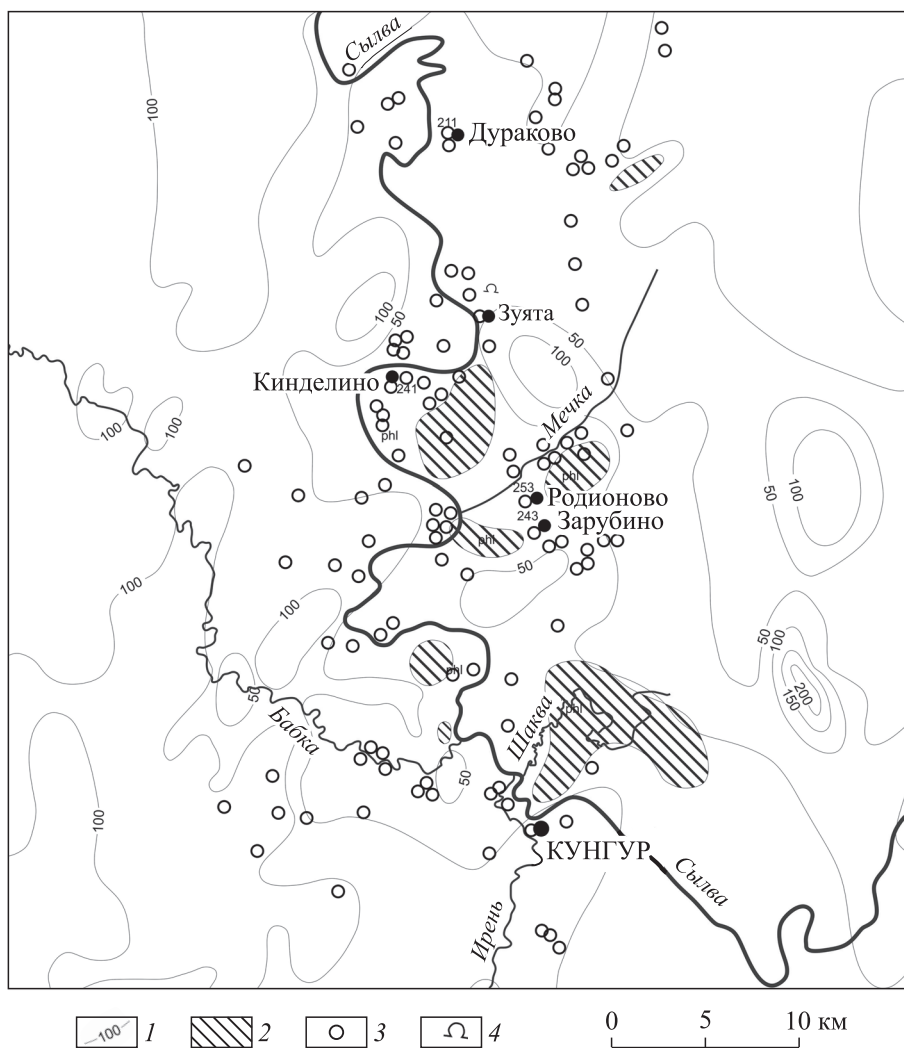


Рис. 2. Провалы в структурах облекания ископаемых рифовых построек.

1 — изолинии мощности сульфатных отложений; 2 — ископаемые рифовые постройки; 3 — карстовые провалы; 4 — пещеры.

Непрерывные наблюдения за провальными явлениями позволяют фиксировать случаи повторных провалов на месте предыдущих либо в непосредственной близости. В настоящее время на территории г. Кунгура зафиксировано более 600 провалов. На долю собственно карстовых и карстово-суффозионных провалов приходится 66 % от общего количества [16, 17]. Остальные провалы происходят в результате антропогенного воздействия, например, утечек из водонесущих коммуникаций, а также возникают над старыми погребями и т. д. На сегодня в г. Кунгуре фиксируются два повторных карстовых провала на месте первоначальных, с разницей в 13 и 15 лет. Морфометрические показатели в первом случае увеличились: поперечник — в 4 раза, глубина — в 2 раза; во втором они остались прежними [18, 19]. В обоих случаях ликвидация провалов происходила путем засыпки щебнем и глиной послойно с утрамбовкой. Однако при сохранении гидродинамических условий циркуляции подземных вод в районе провалов со временем обвальные процессы возобновляются.

Неоднократное развитие провалов у входа в Зуютскую пещеру — геологический памятник природы, расположенный недалеко от г. Кунгура в пределах Нижнесыльвенского карстового района, демонстрирует непрерывное изменение ландшафта при действии карстовых процессов. До недавнего времени пещера представляла собой разветвленную систему ходов и гротов общей протяженностью 1410 м. Первый провал рядом с ее входом произошел в 1960 г. и образовал второй вход [20]. В 2014 г. на месте «нового» входа, ставшего воронкой, образовался провал с поперечником до 20 м, в восточной стене которого снова возник вертикальный колодец, аналогичный ранее сформированному, открывший доступ в карстовую полость. Обследование провала в 2018 г. показало, что обрушения его стенок за последние четыре года привели к увеличению поперечника и полностью «закупорили» входной колодец. В настоящее время Зуютская пещера недоступна. Однако развитие спелеосистемы в настоящее время продолжается, поскольку сохраняется растворяющее действие подземного потока. Постепенные обвалы сводов гротов и галерей, с течением времени выходящие на поверхность, приводят к образованию повторных провалов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мониторинговые наблюдения за провальными явлениями, в том числе повторными, на территории распространения карстующихся карбонатно-сульфатных пород на границе Восточно-Европейской платформы и Предуралья позволили проследить эволюцию развития экзогенных процессов на локальных участках. Присутствие в геологическом разрезе ископаемых рифовых построек под рыхлыми покровными отложениями определило особые условия циркуляции воды в облегающих породах. При интенсивном воздействии подземных вод на растворимые сульфатные отложения по контуру постройки образуются провалы. При сохранении растворяющего действия формируются повторные провалы, зафиксированные за последние десятилетия.

Преобразования ландшафта в областях развития легкорастворимых сульфатных и карбонатно-сульфатных отложений происходят довольно быстро, иногда в пределах срока эксплуатации сооружений различного уровня ответственности. Количество и морфометрические показатели провалов позволяют наиболее эффективно проектировать жилищное и промышленное строительство в соответствии с нормативными документами. Организация водоснабжения, разведка и эксплуатация месторождений полезных ископаемых невозможна без учета гидрогеологической обстановки на современном этапе. Выявленные особенности развития провальных явлений в районах ископаемых рифовых построек позволяют прогнозировать развитие геологической ситуации до кризисного этапа на урбанизированных территориях, сводя к минимуму негативные последствия проявления природной опасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Андрейчук В.Н.** Березниковский провал. — Пермь: Изд-во УрО РАН, 1996. — 132 с.
2. **Бураков А.Д.** Опыт прогноза размеров пещер на основании анализа геолого-гидрогеологических условий // Изучение Уральских пещер: Докл. 2-й и 3-й конф. спелеологов Урала. — Пермь: Изд-во Горного ин-та УрО РАН, 1992. — С. 62–63.
3. **Дорофеев Е.П.** Соотношение размеров провальных впадин и карстовых полостей в сульфатных породах // Вопросы карстоведения. — 1970. — Вып. 2. — С. 11–15.
4. **Горбунова К.А.** Морфология и гидрогеология гипсового карста: Учебное пособие по спецкурсу. — Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1979. — 95 с.

5. Назаров Н.Н. Карст Прикамья. Физико-географические (геоморфологические) аспекты: Учебное пособие. — Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1996. — 95 с.
6. Печеркин А.И. Геодинамика сульфатного карста. — Иркутск: Изд-во Ирк. ун-та, 1986. — 172 с.
7. Klimchouk A., Andrejchuk V. Sulphate rocks as arena for karst development // Gypsum Karst of the World. (International Journal of Speleology). — 1996. — Vol. 25 (3–4). — P. 9–20.
8. Pulina M., Andrejczuk W. Wielka encyklopedia geografii swiata. T. 17: Kras i jaskinie. — Poznan: Wydawnictwo KURPISZ, 2000. — 359 s.
9. Shibakova V.S., Lukin V.S., Dorofeev E.P., Andreichuk V.N. Kungur Ice Cave — Case history of utilization and rehabilitation // Engineering Geology and the Environment. — Rotterdam: Balkema, 1997. — P. 3009–3013.
10. Худеньких К.О., Дублянский В.Н., Дублянская Г.Н. Оценка распространения карстующихся пород на территории Пермской области // Проблемы комплексного мониторинга на месторождениях полезных ископаемых. Сб. докладов. — Пермь: Изд-во Горного ин-та УрО РАН, 2002. — С. 226–229.
11. Лукин В.С. Провальные явления на Урале и в Предуралье // Гидрогеол. сб. № 3: Труды Ин-та геологии УФАН СССР. — 1976. — Вып. 64. — С. 133–160.
12. Горбунова К.А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г. Карст и пещеры Пермской области. — Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1992. — 200 с.
13. Лавров И.А. История изучения пещер Пермской области (1971–1998 гг.) // Пещеры. Межвуз. сб. науч. трудов. — Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1999. — Вып. 26–25. — С. 156–169.
14. Кадебская О.И., Лаврова Н.В., Богомаз М.В. Результаты мониторинговых исследований опасных геологических и техногенных процессов на территории Пермского края в 2016 г. // Использование и охрана природных ресурсов в России. — 2017. — № 2 (150). — С. 5–7.
15. Турьшев А.В. Особенности подземного стока и разгрузки трещинно-карстовых вод северной части Уфимского плато // Гидрогеол. сб. № 2: Труды Ин-та геологии УФАН СССР. — 1962. — Вып. 62. — С. 131–141.
16. Кадебская О.И., Кадебский Ю.В., Пятунин М.С. Создание компьютерного банка данных инженерно-геологической и карстологической информации в г. Кунгуре // Сергеевские чтения. — 2001. — Вып. 3. — С. 367–369.
17. Катаев В.Н., Кадебская О.И. Геология и карст города Кунгура. — Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2010. — 236 с.
18. Богомаз М.В. Карстообразования в районе железной дороги 70 пути необщего пользования станции Кунгур // Стратегия и процессы освоения георесурсов: Материалы ежегодной науч. сессии. — Пермь: Изд-во Горного ин-та УрО РАН, 2014. — С. 12–14.
19. Лаврова Н.В. Повторные провалы на территории г. Кунгура, Пермский край // Проблемы региональной экологии. — 2016. — № 4. — С. 109–111.
20. Шимановский Л.А. Образование нового входа Зуятской пещеры // Пещеры: Межвуз. сб. науч. трудов. — 1962. — Вып. 2. — С. 41–46.

Поступила в редакцию 23.11.2018

После доработки 21.08.2019

Принята к публикации 25.06.2020