

## РАЗДЕЛ 5. ГЕОМОРФОЛОГИЯ И ЭВОЛЮЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ

УДК 55 (470.57)

### КАРСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В НЕДРАХ «УФИМСКОГО ПОЛУОСТРОВА»

*Антонов К. В.<sup>1</sup>, Абдуллина М. Р.<sup>2</sup>*

*<sup>1, 2</sup>Башкирский государственный университет, Уфа, Российская Федерация  
E-mail: <sup>1</sup>antonov-k-v@mail.ru*

Рассматривается карстовый процесс «Уфимского полуострова» на конкретных, наиболее ярких и характерных примерах. Подробно рассмотрены аномальные провалы и их ликвидация.

**Ключевые слова:** карст, гипс, известняк, доломит, соликамский горизонт, кунгурский ярус, базис эрозии, карстовый косогор, воронка, понор, лог, котловина, провал.

#### ВВЕДЕНИЕ

Республика Башкортостан выделяется широким развитием карста и связанного с ним суффозионного процесса. Карст обеспечивается рядом таких условий как повсеместное распространение в геологическом разрезе растворимых пород (ангидриты, гипсы, известняки, доломиты, мергели и др.), высокая плотность трещиноватости, кавернозность и пористость грунтов, наличие высоко динамичных, агрессивных подземных вод, сообщающихся с поверхностной гидросетью и разгружающихся в долинах рек и оврагах. Активное взаимодействие компонентов карстовой геосистемы наглядно проявляется в результате формирования внезапных провалов и их последующего развития. Для предотвращения роста опасных для хозяйствования карстовых форм используются различные способы защиты, наиболее распространенным из которых является тампонаж. Все отмеченные карстовые явления и методы борьбы с ними характерны и для столицы Башкортостана. Поэтому *цель работы* — детальный анализ условий и характеристика параметров наиболее известных и опасных провалов Уфы, а также изучение опыта ликвидации их последствий.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Столица Башкортостана г. Уфа расположена на востоке Русской равнины в пределах Прибельской холмисто-увалистой равнины. Абсолютные отметки колеблются от 80-85 м (урезы рек Белой, Уфы) до 200-212 м (район «Старой Уфы», междуречье Белой — Шугуровки). Основная часть города (жилая и промышленная) находится в пределах так называемого «Уфимского полуострова» (Бельско — Уфимская водораздельная равнина), другая часть - в долинах рек Белой и Уфы. Возвышенный участок от долин Белой и Уфы почти повсеместно отделяется крутым уступом высотой 50–100 м. Ширина колеблется от 2–2,5 км в центральной части до

5–7 км в северной части города, а протяженность с севера на юг составляет около 30 км.

Две крупные реки западного склона Урала — Белая и Уфа омывают возвышенность. Река Белая протекает у южных и западных границ, а Уфа у восточных границ возвышенности. Впадением реки Уфы в реку Белую справа замыкается водное окаймление возвышенного участка суши, напоминающее по внешнему виду полуостров. Отсюда и появилось название «Уфимский полуостров».

«Уфимский полуостров» характеризуется широким развитием карстовых процессов. Карст, главным образом связан с гипсами кунгурского яруса, значительно меньше — с известняками, доломитами и загипсованными песчаниками соликамского горизонта (сульфатный и карбонатно-сульфатный классы). Интенсивность карста на территории города зависит от ряда факторов: степени перекрытости карстующихся пород некарстующимися, положения базиса эрозии современных и палеодолин рек Уфы и Белой, соотношения уровней вод различных водоносных горизонтов, трещиноватости и проницаемости пород, агрессивных свойств фильтрующихся через породы вод, техногенной нагрузки на геологическую среду и др. [1].

В соответствии с современным геолого-тектоническим положением рассматриваемой территории кровля карстующихся кунгурских пород залегает на разной глубине (от 0–10 до 70–80 м) [2]. В связи с чем здесь представлены все подклассы гипсового карста (по Г. А. Максимовичу): голого (по крутым склонам долин рек Белой и Уфы), покрытого (верхние и средние части склонов, где карстующиеся породы перекрыты неоген-четвертичными элювиально-делювиальными и маломощными терригенными уфимскими отложениями), перекрытого (в долинах рек Белой, Уфы, Сутолоки) и закрытого (практически на всем междуречье). Карст на поверхности проявляется при мощности перекрывающих некарстующихся пород менее 60 м.

Наиболее активен карст в пределах гипсовых куполовидных поднятий. Классическим примером активного карста является, так называемый, Уфимский карстовый косогор, представляющий часть правого склона долины реки Белой площадью около 7 кв. км, на отрезке железной дороги Самара-Челябинск от 1622 до 1627 км.

В пределах Уфимского карстового косогора зафиксировано более 250 карстопроявлений на поверхности (36 воронок/кв. км), связанных с гипсами кунгурского яруса. Коэффициент закарстованности составляет 0,28 %. Наиболее поражены карстом выположенные днища оврагов ниже мест поглощения поверхностных водотоков. На склонах степень пораженности карстом не превышает 0,04–0,5 %. Из 26 карстовых провалов 14 приурочено к днищам оврагов, 4 — к склонам оврагов и подножью косогора, остальные — к железнодорожному полотну (2 воронки) и участку между оврагами. Частота провалов 2–3 случая в год на квадратный километр. Размеры воронок, образовавшихся за последние годы, невелики (глубина 1,2 м, поперечник 1,7 м. 70 % провалов образуются весной или ранним летом. Здесь же встречаются карстовые пещеры (три из пяти известны на «Уфимском полуострове»), протяженностью 7–15 м. Большинство их расположено

на уровне первой — второй надпойменных террас. Направления пещерных ходов контролируются простиранием тектонических трещин. Наиболее известны три пещеры: первая в основании «Висячего камня», протяженностью 10 м с гротом в конце, вторая — около разъезда «Воронки» (длина 7 м), третья — у скалы «Малый висячий камень» (длиной 15 м, шириной от 0,8 до 2,5 м). В целом степень пораженности Уфимского карстового косогора поверхностными карстопроявлениями находится в обратной зависимости от мощности покрывающих карстующиеся гипсы отложений и уклона местности [3].

Первая историческая справка, относительно воронок вдоль пути, приводится в записке Управления Самаро-Златоустовской железной дороги от 4-го июля 1893 года. В записке указывается, что строение косогора вдоль правого берега р. Белой из гипсов, прикрытых сверху толщей глины, обусловило образование воронок еще в давние времена. Таких старых воронок насчитывается с 454-й версты до 459-й версты десять штук некоторые из них были при постройке дороги забиты, некоторые же ограждены лотками, перехватывающими поверхностную воду [4, 5].

На участках покрытого карста, где гипсы кунгура и известняково-мергелистые толщи соликамского горизонта залегают близко к поверхности, карст проявляется на поверхности в виде многочисленных форм провального (в гипсах кунгура) и суффозионно-карстового генезиса (карбонатных толщах соликамского горизонта). В прибортовых частях палеодолин и на участках примыкания неоген-четвертичных отложений к их коренным склонам воронки чисто суффозионного происхождения.

Поверхностные карстовые формы представлены практически всеми морфологическими и генетическими типами (конусо-, блюдце-, котловино-, и чашеобразные). Конусообразные разности в основном находятся на правых склонах долин Белой и Уфы. Размеры их: диаметр от 10 до 100 м (редко более), глубина от 5 до 20 м. Чашеобразные встречаются в пределах плоских междуречий (диаметр 20-150 м, иногда до 500 м, глубиной до 18 м). Плотность воронок достигает 8-12 на квадратный километр. Котловинообразные воронки имеют более крутые склоны и вогнутое дно (глубина их 3–12 м, диаметр 100–120 м).

Котловины и лога карстового, эрозионно-карстового происхождения прорезают правые крутые склоны долин Белой и Уфы (на Уфимском карстовом косогоре, у моста в Затоне, в районе Башгосуниверситета и др.). Они чаще образуются при слиянии линейно расположенных воронок на участках перетока по оврагам вод из уфимских терригенных отложений в кунгурские гипсы. Такие овраги часто заканчиваются понорами. Объем поглощаемой понорами воды достигает 500–600 тыс. м<sup>3</sup>/год.

Перекрытый карст широко представлен в долинах рек Белой и Уфы (в пределах аккумулятивных террас). На участках, где аллювиальные галечники лежат непосредственно на гипсах кунгура или мергелях соликамского горизонта, наблюдается большое количество поверхностных карстопоявлений в виде воронок чашеобразной формы и провалов (район сел Карюгино, Алексеевка, Карповка и др.). Многочисленные, не только поверхностные, но и глубинные формы этого типа карста обнаруживаются при бурении скважин в долинах рек. Большое количество полостей отмечено также вдоль бортов палеодолин Белой, Уфы, Шугуровки. Частота

встречаемости полостей увеличивается с приближением к участкам с поверхностными карстопроявлениями, которые следует рассматривать как отражение внутренней закарстованности массива. Высота полостей обычно 1–2 м, реже 3–4 м. Иногда встречаются полости до 6–10 м (при изысканиях на Софроновской пристани под мостовой переход обнаружена полость высотой 6,5 м). В целом в долинах рек карстовый процесс протекает медленно, но на локальных участках он может быть весьма активным.

На территории города и в его окрестностях карстовые провалы, как показатель современной активности карста, происходят часто (за последние более чем 100 лет зафиксировано 318 провалов, то есть в среднем 3 провала в год. Большинство карстовых воронок (254) образовалось на склонах долин, значительно меньше (47) в долинах и еще меньше (12) на Бельско-Уфимском междуречье. По размеру наиболее крупные провалы произошли в долинных условиях (6,0–0,9 м в диаметре). В тыловом шве реки Белой в основании Уфимского карстового косогора среднее значение их достигает 15,6 м. На склонах диаметр воронок колеблется от 0,5 до 8,2 м. Карстовый провал аномальных размеров произошел в 1927 году на Уфимском карстовом косогоре, когда площадь провала составила 1400 кв. м, глубина 12–14 м (объем воронки 8000 м<sup>3</sup>). На засыпку провала потребовалось 400 вагонов балласта (засыпка производилась в течение 14 дней).

Крупный провал произошел в пос. Архангельском Орджоникидзевского района г. Уфы. Образовался провал в конце октября 1993 г. и сопровождался кратковременным звуковым эффектом и сотрясением грунта, вызвавшим колебание стен и дребезжание оконных стекол в домах поселка. Диаметр провала на момент образования составлял 18 м при глубине 17 м и колодцеобразной форме. В отвесных стенках его в верхних и средних частях обнажались терригенно-карбонатные породы пешминского горизонта, в нижних — «седая пачка» соликамского горизонта уфимского яруса. Дно провала на глубину 3 м было заполнено водой. Провал связан с карстом в гипсовой толще кунгура (сульфатный закрытый карст). Через два года провал приобрел чашеобразную форму и увеличился в размерах с поверхности до 24,5×18,7 м. В 2000 г. он сохранял свежие очертания, глубина его составляла 12 м при размерах в плане 26×22 м.

Провал в Дёмском районе г. Уфы образовался в 7 час 30 мин 9 мая 2000 г. на проезжей части Чебоксарского переулка, напротив частных жилых домов № 15 и № 20. Первоначальный диаметр равнялся 1 м. К 12 часам он достиг 5-6 м и глубину около 6 м при колодцеобразной форме. Во второй половине дня приступили к ликвидации провала путем засыпки его глинистым грунтом. Когда провал был почти полностью засыпан, весь объем засыпанного грунта через 5-6 мин. провалился с грохотом и клокотанием воды, прорвавшейся снизу. Диаметр его составлял 10 м, глубина 15 м. Засыпка провала продолжалась всю ночь с 9 по 10 мая. К 11.00 час 10 мая диаметр провала достиг 12 м и частично был заполнен водой, глубина до уровня которой была 4 м. 11 мая провал был ликвидирован. В общей сложности на засыпку провала израсходовано 4 тыс. м<sup>3</sup> глинистого грунта.

Провал в Советском районе г. Уфы по ул. Авиамоторной, д. 33 образовался 13 ноября 2014 г. в 7 час. 15 мин прямо под жилой частью частного дома, диаметр провала составил 4 м, глубина 4,4 м.

Отказы оснований и фундаментов зданий и сооружений, связанные с карстовыми и карстово-суффозионными процессами на полуострове не единичны, их количество порядка 30-ти. Несколько домов не подлежали восстановлению и были снесены. Остальные укреплены с учетом степени их поражения. Примером могут служить дома, подвергшиеся воздействию карста, укрепленные от разрушения стальными бандажами накрытыми декоративными коробами, угол улиц Карла Маркса, 5а и Заки Валиди, 43а.

В пределах г. Уфы широко распространены и погребенные виды карста. При бурении скважин и проходке котлованов вскрыты древние карстовые формы (воронки, котловины) в микрорайонах «Новиковка», «Лесопарковая», ул. Галле и др.

### **ВЫВОД**

В результате выполненных исследований определены основные параметры карстового процесса, выраженные через количество и геометрические размеры карстопоявлений (диаметр, глубина, площадь, объем). Это позволяет оценивать интенсивность карстового процесса через годовой прирост количества (частоту) или объема карстовых форм. Выполненные наблюдения существенно облегчают проведение сравнительного анализа при локальных и региональных исследованиях и обязательно должны быть включены в инженерно-геологические расчеты при освоении городских территорий.

### **Список литературы**

1. Абдрахманов Р. Ф., Мартин В. И., Попов В. Г. и др. Карст Башкортостана. Уфа: Информреклама, 2002. 384 с.
2. Нафикова Р. А., Антонов К. В. Изучение карстовых явлений и процессов на примере вскрытой верхней части разреза отложений Уфимского полуострова // Геофизика — фундамент геологоразведки. Инновационные технологии в промышленной геологии и геофизике. 80-летию посвящается. Сборник докладов шестой и седьмой молодежных научно-практических конференций. 2012. С. 168–172.
3. Смирнов А. И. Стационарные наблюдения за карстопоявлениями на Уфимском карстовом косогоре // Инженерная геология. 1992. № 2. С. 50–56.
4. Иванов Д. Л. Воронки на уфимском участке Самаро-Златоустовской железной дороги // Известия общества горных инженеров. СПб. 1897. Т. IV № 1. 63 с.
5. Иванов Д. Л. Уфимские воронки. Провалы Самаро-Златоустовской железной дороги. Геолого-технические исследования 1894 и 1896 г. Горного Инженера Дм. Льв. Иванова. Издание Собрания Инженеров Путей Сообщения. СПб.: Типография Ю. Н. Эрлих. 1899. 63 с.

**KARST PROCESSES IN THE BOWELS OF THE "UFA PENINSULA"**

*Antonov K. V.<sup>1</sup>, Abdullina M. R.<sup>2</sup>*

*<sup>1,2</sup>Bashkir State University, Ufa, Russian Federation*

*E-mail: <sup>1</sup>antonov-k-v@mail.ru*

Karst of the Republic of Bashkortostan is provided by such conditions as the ubiquitous distribution of soluble rocks (anhydrite, gypsum, limestone, dolomite, marl, etc.) in the geological section, high density of fracturing, cavernousness and porosity of rocks, the presence of highly dynamic, aggressive groundwater fed from the surface hydrographic networks and discharging in river valleys. Karst manifests itself here as a result of the formation of sudden collapses and their subsequent development. To prevent the growth of karst forms dangerous for the economy, various methods of protection are used, the most common of which is backfill.

The paper analyzes the karst phenomena observed over more than 100 years of history in the capital of Bashkortostan Ufa (in the part of the city called the Ufa Peninsula). Karst here is associated with gypsum of the Kungurian unit, somewhat less - with limestones, dolomites and gypsum sandstones of the Solikamsk unit. The top of the karst Kungur rocks occurs at depths from 0–10 to 70–80 m. Karst is represented by open, covered, overlapped and closed types. Within the Ufa karst slope, more than 250 karst manifestations on the surface (36 sinkholes/km<sup>2</sup>) associated with gypsum of the Kungurian stage were recorded. Of the 26 karst sinkholes, 14 are confined to the ravine bottoms, 4 - to the ravine slopes and the foot of the slope, the rest - to the railway track and the section between the ravines. The collapse rate is 2–3 events per year per square kilometer. 70% of sinkholes are formed in spring or early summer.

In areas of covered karst, where the Kungur gypsum and limestone-marl strata of the Solikamsk unit lie close to the surface, karst appears on the surface in the form of numerous forms of collapse and suffusion-karst genesis. Surface karst forms are represented by all morphological and genetic types of sinkholes. Cone-shaped varieties are located on the right slopes of the Belaya and Ufa valleys. Their diameter is from 10 to 100 m, depth is from 5 to 20 m. Cup-shaped sinkholes are found within flat interfluves (diameter 20–150 m, sometimes up to 500 m, depth up to 18 m). The density of the sinkholes is 8–12 per square kilometer. Basin-like funnels have steeper slopes and a concave bottom (their depth is 3–12 m; diameter is 100–120 m).

Over the past 100 years, 318 collapses have been recorded on the territory of the city. Most of the sinkholes (254) formed on the slopes of the valleys, much less (47) in the valleys and even less (12) in the interfluve. The largest sinkhole occurred in 1927 (the volume of the funnel was 8 thousand m<sup>3</sup>). It took 400 wagons of ballast to grout it. In 2000, a hole with a diameter of 12 m and a depth of 15 m was formed. It took 4 thousand m<sup>3</sup> of clay to fill it. The last failure was recorded in 2014.

**Keywords:** karst, gypsum, limestone, dolomite, solikamsk horizon, kungur tier, erosion basis, karst slope, funnel, ponor, log, basin, sinkhole.

### References

1. Abdrahmanov R. F., Martin V. I., Popov V. G. i dr. Karst Bashkortostana. Ufa: RA «Informreklama», 2002. 384 p. (in Russian)
2. Nafikova R.A., Antonov K.V. Izuchenie karstovyh yavlenij i processov na primere vskrytoj verhnej chasti razreza otlozhenij Ufimskogo poluostrova // Geofizika — fundament geologorazvedki. Innovacionnye tekhnologii v promyslovoj geologii i geofizike. 80-letiyu posvyashchaetsya // Sbornik dokladov shestoj i sed'moj molodezhnyh nauchno-prakticheskikh konferencij. Ufa: Informreklama, 2012. pp. 168–172. (in Russian)
3. Smirnov A. I. Stacionarnye nablyudeniya za karstoproyavleniyami na Ufimskom karstovom kosogore // Inzhenernaya geologiya. 1992. № 2. pp. 50–56. (in Russian)
4. Ivanov D. L. Voronki na ufimskom uchastke Samaro-Zlatoustovskoj zheleznoj dorogi // Izvestiya obshchestva gornyh inzhenerov. SPb. 1897. T. IV № 1. 63 c. (in Russian)
5. Ivanov D.L. Ufimskie voronki. Provaly Samaro-Zlatoustovskoj zheleznoj dorogi. Geologo-tekhnicheskie issledovaniya 1894 i 1896 g. Gornogo Inzhenera Dm. L'v. Ivanova. Izdanie Sobraniya Inzhenerov Putej Soobshcheniya. SPb. Tipografiya YU. N. Erlih, 1899. 63 p. (in Russian)

*Поступила в редакцию 20.09.2021 г.*