

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОЙ АКТИВНОСТИ КАРБОНАТНОГО КАРСТА С УСТАНОВЛЕНИЕМ ГЕОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЕГО РАЗВИТИЯ В НЕОГЕН-ЧЕТВЕРТИЧНОЕ ВРЕМЯ

Р. Ф. Абдрахманов, В. Н. Дурнаева, А. О. Полева, А. Р. Бакиева

Институт геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, 450077, г. Уфа, ул. К. Маркса, 16/2, E-mail: hydro@ufaras.ru

Оценена современная активность развития карбонатного карста как одного из опасных геологических процессов на Южном Урале и в Предуралье. Установлены геолого-гидрогеологические особенности его развития в неоген-четвертичное время.

Исследованиями последних лет выявлена тесная связь поверхностных карстопоявлений и деформаций зданий и сооружений с погребенными формами палеогидросети. Освоение территорий, ранее считавшихся непригодными для строительных целей, неизбежно сопровождается серьезным воздействием человека на геологическую среду и, как результат, происходит активизация карстовых процессов. Примером природной активности развития карбонатного карста в неоген-четвертичное время является Уфимское плато, а техногенной — промышленно-урбанизированная территория Уфимского полуострова, а также районы нефтедобывающего техногенеза.

Ключевые слова: опасные геологические процессы, Южный Урал и Предуралье, карбонатный карст, активизация карста, карстовая опасность, химический состав подземных вод, ГИС-технологии

ASSESSMENT OF THE CURRENT ACTIVITY OF THE CARBONATE KARST SETTING GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL FEATURES OF ITS DEVELOPMENT DURING THE NEOGENE-QUATERNARY TIME

R. F. Abdrakhmanov, V. N. Durnaeva, A. O. Poleva, A. R. Bakieva

Institute of Geology, Ufa Federal Research Center of RAS, 16/2, K. Marx St., Ufa, 450077, Russia, E-mail: hydro@ufaras.ru

The current activity of the development of carbonate karst as one of dangerous geological processes in the Southern Urals and the Cis-Urals is estimated. The geological and hydrogeological features of its development during the Neogene-Quaternary period are established.

Recent studies have revealed a close relationship between surface karst occurrences and deformations of buildings and structures with buried forms of the paleohydrogenet. The development of territories that were previously considered unsuitable for construction purposes is inevitably accompanied by a serious human impact on the geological environment and, as a result, there is an activation of karst processes. An example of the natural activity of development of carbonate karst in the Neogene-Quaternary time is the Ufa plateau, and technogenic — the industrial-urbanized territory of the Ufa Peninsula, the area of oil-producing technogenesis.

Keywords: hazardous geological processes, Southern Urals and the Urals, carbonate karst, karst activation, karst hazard, chemical composition of underground waters, GIS technologies

Для цитирования: Абдрахманов Р.Ф., Дурнаева В.Н., Полева А.О., Бакиева А.Р. Оценка современной активности карбонатного карста с установлением геолого-гидрогеологических особенностей его развития в неоген-четвертичное время // Геологический вестник. 2021. № 1. С. 105–114. DOI: 10.31084/2619-0087/2021-1-10.

For citation: Abdrakhmanov R.F., Durnaeva V.N., Poleva A.O., Bakieva A.R. (2021) Assessment of the current activity of the carbonate karst setting geological and hydrogeological features of its development during the Neogene-Quaternary time. *Geologicheskii vestnik*. No. 1. P. 105–114. DOI: 10.31084/2619-0087/2021-1-10.

Введение

Развитие карстового процесса, как правило, происходит на глубине и скрыто от непосредственного исследования. Ход его развития малопредсказуем, поэтому карст по степени неожиданности проявления и причиняемого ущерба является самым опасным геологическим процессом в регионе [Абдрахманов и др., 2002].

Современная природная и техногенная активность карста в карбонатных породах (известняках, доломитах) в связи с малой их растворимостью проявляется слабо. Основная опасность, наблюдаемая при гидротехническом строительстве (Павловское, Юмагузинское водохранилища и др.), промышленно-гражданском строительстве, связана с суффозионным процессом — выносом мелких частиц (глин, песка, гравия и пр.) из трещин и пустот карстующихся карбонатных пород, вызывается изменением напорных градиентов подземных вод в пластах горных пород.

Исследованиями последних лет [Абдрахманов, 2020б; Абдрахманов, Попов, 2017а, б; Абдрахманов, Смирнов, 2016] установлена тесная связь поверхностных карстопроявлений (воронки, провалы) и деформаций зданий и сооружений с погребенными формами палеогидросети. Как правило, вдоль бортов древней гидросети, заполненной в настоящее время неоген-четвертичными глинисто-суглинистыми отложениями, особенно в верховьях, встречаются погребенные карстово-суффозионные формы, а также провалы и оседания в современном рельефе, вызывающие деформации зданий и сооружений. Классическим примером природной активности развития карста в неоген-четвертичное время является Уфимский полуостров и районы нефтедобывающего техногенеза.

Освоение территорий, ранее считавшихся непригодными для строительных целей, неизбежно сопровождается серьезным воздействием человека на геологическую среду, выражающемся в нарушении водоупорных свойств покровных отложений; загрязнении атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод агрессивными выбросами промышленных предприятий; возникновении техногенных источников формирования (до 25–30% и более от природного) подземных вод (различного рода утечки из водонесущих коммуникаций); механическом воздействии производственно-технологических процессов (забивка свай, вибрационные нагрузки от механизмов и др.), в результате чего происходит активизация карстовых процессов [Абдрахманов, 2019].

Современная активность развития карбонатного карста

Южный Урал и Предуралье в пределах Республики Башкортостан — классический регион развития сульфатного и карбонатного карста. В пределах этого региона карстующиеся породы распространены на около 50% территории, почти 30% площади поражено поверхностными карстопроявлениями.

Относится регион к карстовой стране Восточно-Европейской равнины (рис. 1, I) и Уральской карстовой стране (II). В первой — развит равнинный карст в горизонтально- и пологозалегающих породах в пределах платформенной части (I-A) и предгорный карст в пологозалегающих и слабо дислоцированных породах в пределах Предуральского прогиба (I-B). Во второй (II-A) — горный карст в сильно дислоцированных образованиях Центрально-Уральского поднятия и равнинный карст в складчато-глыбовых отложениях Зауралья в пределах Магнитогорского прогиба (II-B) [Абдрахманов и др., 2002]. Карбонатный карст, как видно из рис. 1, имеет широкое распространение в исследуемом регионе.

Природная (естественная) активизация карстового процесса

Формирование переуглубленной речной сети систем Палео-Волги, Палео-Белой и других палеорек стало уникальным событием в кайнозойской истории Восточно-Европейской равнины. Первые указания на наличие переуглубленного русла р. Волги (в районе г. Казань) относятся к концу XIX века. Однако особое научное и практическое значение проблема погребенных долин системы Палео-Волги приобрела только во второй половине прошлого столетия в связи с проектированием гидротехнических сооружений на Белой, Уфе и др. (Павловское, Юмагузинское водохранилища, рис. 2, 3), а также проведением поисково-разведочных работ на подземные воды, нефть, газ и другие полезные ископаемые. В результате было установлено размещение и строение древних долин не только названных палеорек Урало-Поволжья, но и их притоков: Сюнь, Быстрый Танып, Дема, Сим, Нугуш и др. (см. рис. 1). Имеются некоторые данные по рекам и озерным котловинам Зауралья (бассейн реки Урал).

Главным геологическим фактором, вызвавшим переуглубление речной сети, явились произошедшие на границе миоцена и плиоцена восходящие

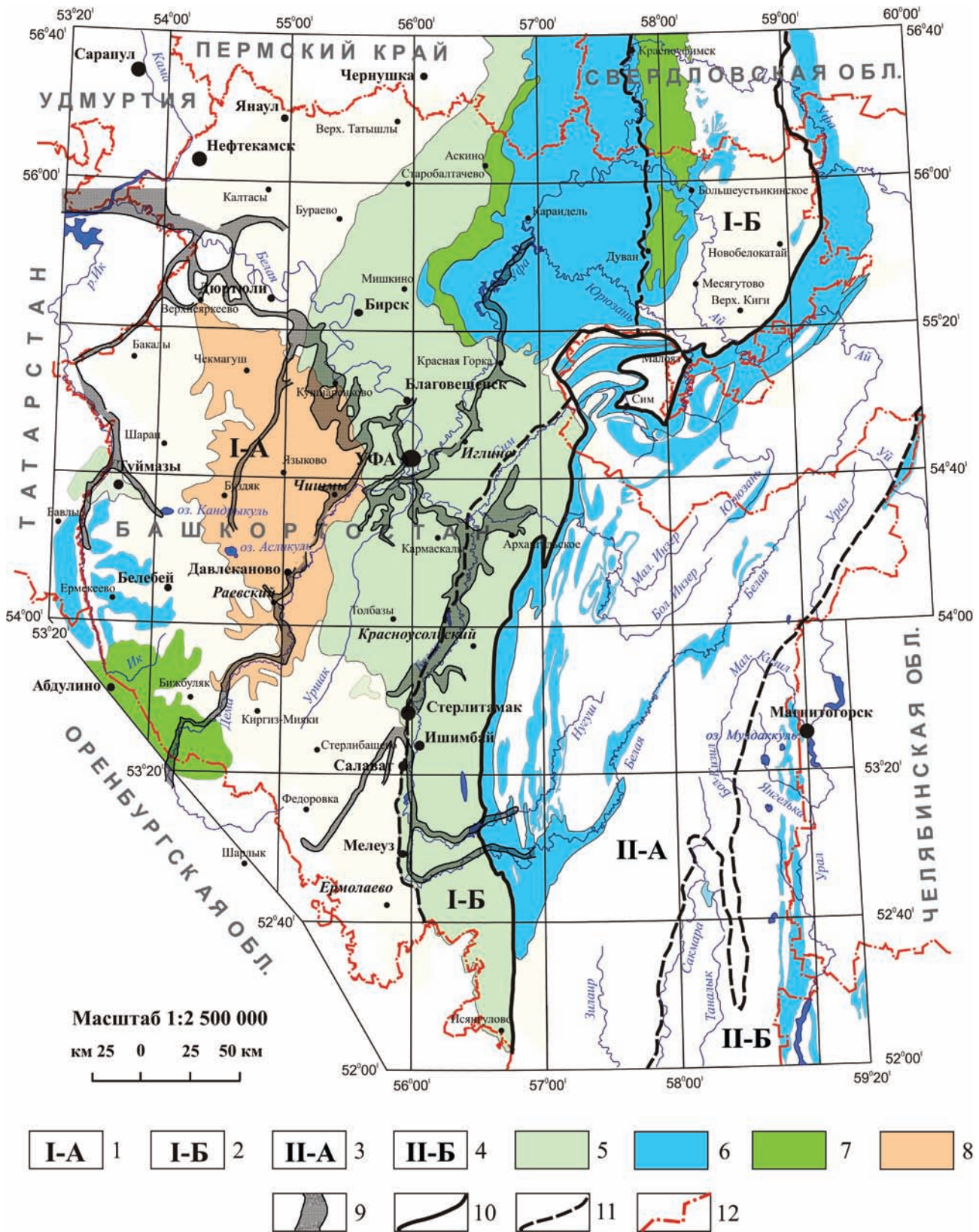


Рис. 1 Распространение карста на территории Южного Урала и Предуралья [Абдрахманов и др., 2002]

Fig. 1. Karst distribution in the Southern Urals and the Cis-Urals [Abdrahmanov et al., 2002]

К рис. 1. Условные обозначения: Карстовая страна Восточно-Европейской равнины (I): 1 — равнинный карст в горизонтально и пологозалегающих породах Предуралья, 2 — равнинный и предгорный карст Предуралья в пологозалегающих и слабо дислоцированных породах. Уральская карстовая страна (II): 3 — горный карст в сильно дислоцированных образованиях Урала, 4 — равнинный карст в складчато-глыбовых отложениях Зауралья. 5–8 — типы карста: 5 — сульфатный, 6 — карбонатный, 7 — сульфатно-карбонатный, 8 — кластокарст; 9 — контур палеодолин; 10–12 — границы: 10 — карстовых стран; 11 — типов карста; 12 — субъектов РФ.

To fig. 1. Legend: Karst country of the East European plain (I): 1 — flat karst in horizontal and flat-lying rocks of the Urals, 2 — flat and foothill karst of the Urals in flat-lying and weakly dislocated rocks. Ural karst country (II): 3 — mountain karst in the highly dislocated formations of the Urals, 4 — plain karst in the folded-block deposits of the Trans-Urals. 5–8 — karst types: 5 — sulfate, 6 — carbonate, 7 — sulfate-carbonate, 8 — clastic karst; 9 — contour of paleovalleys; 10–12 — borders: 10 — karst countries; 11 — karst types; 12 — subjects of the Russian Federation.

тектонические движения юго-восточной окраины Русской платформы и Урала, с одной стороны, и погружение южной части Прикаспийской синеклизы — с другой. Резкое понижение уровня Каспия (по некоторым данным до 500 м ниже уровня Мирового океана), являвшегося региональным базисом эрозии, вызвало интенсивную донную эрозию, в результате которой образовались глубоководные в подстилающие породы долины рек, ныне погребенные под неоген-четвертичными осадками [Абдрахманов, Попов, 2017 а].

Палеодолины не только коренным образом трансформировали облик рельефа региона, но и определили характер и масштабы многих экзогенных

геологических процессов — эрозионных, аккумулятивных, склоновых и др. Палеодолины в зависимости от их строения и гидрогеологических условий могут способствовать как дренированию, так и экранированию окружающих водоносных комплексов палеозоя. В первом случае вдоль склонов палеодолин, сложенных известняками и гипсами каменноугольного и нижнепермского возраста, под влиянием возросших напорных градиентов и скоростей движения вод интенсифицируются карстовые процессы, а во втором — к тому же образуются восходящие концентрированные потоки вод, разгружающиеся в виде крупных карстовых источников. Особо важная роль среди них принадлежит

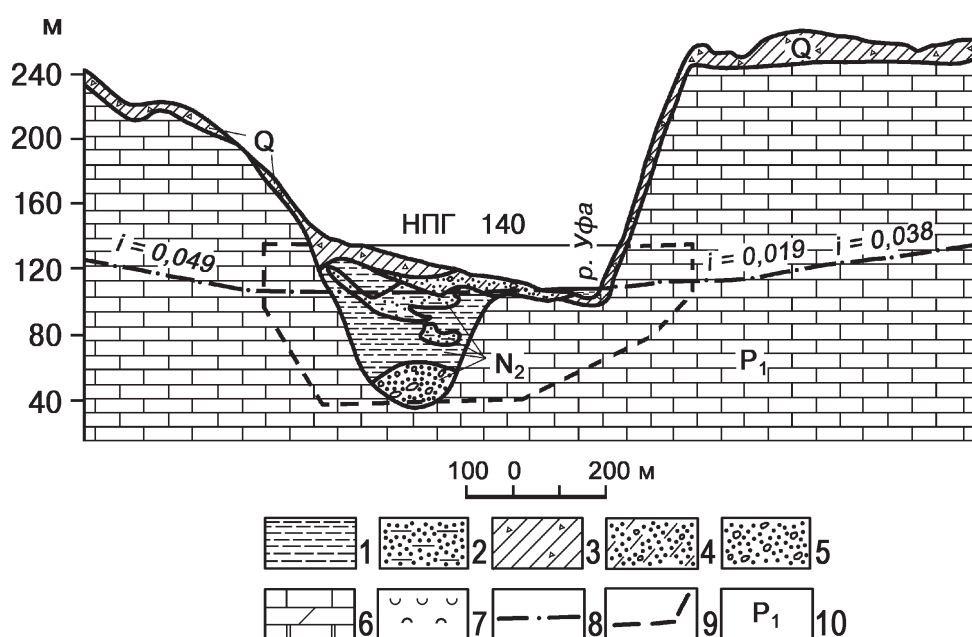


Рис. 2 Геолого-гидрогеологический разрез по створу Павловской плотины [Лыкошин, 1959]

Условные обозначения: 1 — глины, 2 — пески глинистые, 3 — суглинки со щебнем, 4 — песчано-гравийные отложения с суглинистым заполнителем, 5 — гравийно-галечниковые отложения, 6 — известняки, мергели и доломиты; 7 — гипсы и ангидриты; 8 — уровень грунтовых вод и его уклон; 9 — контур цементационной завесы; 10 — возраст пород.

Fig. 2. Geological and hydrogeological section along the alignment of the Pavlovskaya dam [Lykoshin, 1959]

Legend: 1 — clays, 2 — clay sands, 3 — loams with crushed stone, 4 — sand-gravel deposits with loamy aggregate, 5 — gravel-pebble deposits, 6 — limestones, marls and dolomites; 7 — gypsum and anhydrites; 8 — ground water level and its slope; 9 — contour of the cementation curtain; 10 — age of rocks.

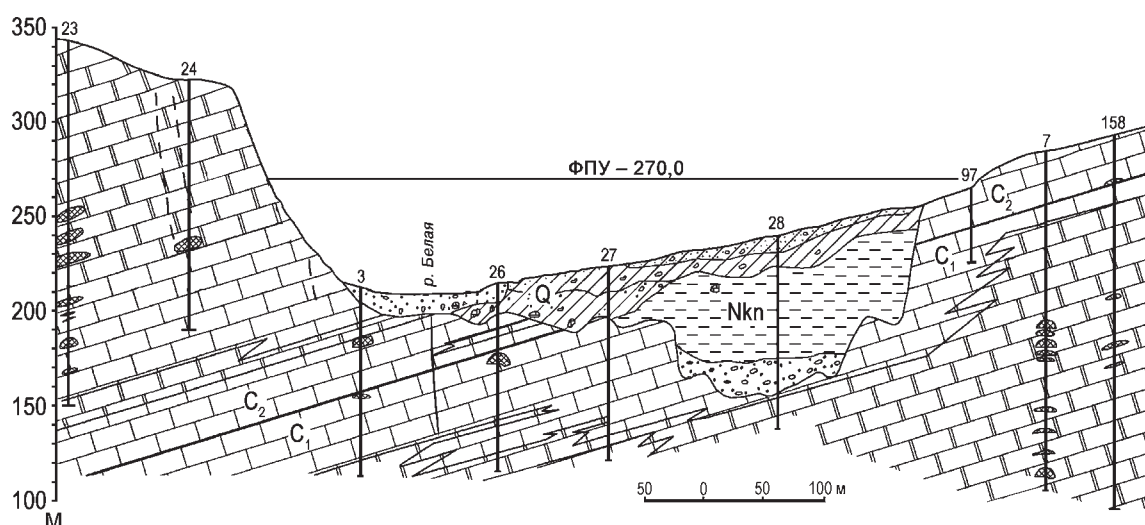


Рис. 3 Геолого-гидрологический разрез по оси плотины Юмагузинского водохранилища [Абдрахманов и др., 2008]
Условные обозначения см. на рис. 2.

Fig. 3. Geological and hydrological section along the axis of the Yumaguzinsky reservoir dam [Abdrahmanov et al., 2008]
See the legend in Fig. 2.

денудационной деятельности подземных вод в целом и трещинно-карстовых в частности, которая резко усилилась вследствие мощного дренирующего воздействия палеодолин, глубоко врезанных преимущественно в пермские породы, слагающие зону гипергенеза.

Классическим примером активности карбонатного карста в неоген-четвертичное время является Уфимское плато. Здесь в карстующихся карбонатных породах нижней перми (P_1) заложена р. Палео-Уфа (см. рис. 2). Ее истоки находятся на Уфимском плато с абсолютными отметками 300–450 м, в тектоническом отношении отвечающем Башкирскому своду. В южной части Уфимского плато Палео-Уфа дренирует карбонатную толщу (200–250 м) раннепермского (артинского) возраста, а местами экранирует потоки подземных вод. Современная и древняя долины определяют формирование подземных и поверхностных карстовых форм. Первые представлены кавернами, полостями, иногда небольшими (длина до 15 м) пещерами, которые переходят в наклонные каналы с поперечным сечением 1.0–1.5 м, ориентированные вдоль бортов Палео-Уфы и связанные с трещинами бортового отпора. Среди поверхностных форм карста наиболее распространены воронки и суходолы. В бассейне р. Яман-Елга (левый приток р. Уфа) при среднегодовом модуле подземного стока 15.3–16.2 $\text{дм}^3/\text{с} \times \text{км}^2$ величина карстовой денудации составляет 38–45 $\text{мкм}/\text{год}$. Это в 3 раза выше, чем в северной части плато,

что объясняется различиями во внутренней закарстованности пород.

В створе Павловского водохранилища (см. рис. 2) ширина долины не превышает 300 м, мощность кинельских осадков в осевой части около 80 м, в том числе 20 м базального песчано-гравийно-галечникового горизонта. Вдоль бортов палеодолины артинские известняки подверглись интенсивному карстовому процессу. В них, а также в самом базальном кинельском горизонте образовались концентрированные потоки, аккумулирующие огромные ресурсы пресных вод. Об этом можно судить по одному из крупнейших в мире источнику «Красный Ключ» (дебит 6–52 $\text{м}^3/\text{с}$) и другим восходящим источникам, которые возникли в результате подпруживающего влияния палеодолины Уфы. По составу они гидрокарбонатные кальциевые с минерализацией (M) 0.2–0.3 $\text{г}/\text{дм}^3$, очень хорошего питьевого качества. Судя по величине M и концентрации HCO_3^- (150–200 $\text{мг}/\text{дм}^3$) они еще далеко не насыщены CaCO_3 и MgCO_3 (дефицит насыщения до 50%), то есть сохранили агрессивность к карбонатным породам. Причина этого — низкие концентрации в водах CO_2 (20–30 $\text{мг}/\text{дм}^3$), регламентирующей растворимость известняков, короткие пути движения (n – $10n$ км) карстовых вод и время нахождения воды в породе ($10n$ – $100n$ сут). Экранирующее влияние неогеновых палеодолин по отношению к трещинно-карстовым водам установлено и в других районах (см. рис. 3).

Техногенная активность карстового процесса

Помимо комплекса естественноисторических факторов, контролирующих развитие карстового процесса (литология пород, тектоника, гидрогеологические особенности и пр.), его масштабы и характер зависят от хозяйственной деятельности человека. Рост городов и освоение территорий неизбежно сопровождаются техногенным воздействием на различные компоненты геологической среды. Это ведет к изменению рельефа, уничтожению поверхностных микроформ, деградации почвенного покрова, нарушению структуры покровных отложений, изменению физико-механических свойств грунтов, гидрогеодинамических и гидрогеохимических условий. В конечном итоге все это часто вызывает активизацию опасных геологических процессов, и в особенности — карстовых и суффозионных. К числу факторов, способствующих развитию карстово-суффозионных процессов, относятся: 1) нарушение водоупорных свойств покровных отложений; 2) возникновение техногенных источников формирования подземных вод; 3) динамическое воздействие производственно-технологических процессов; 4) загрязнение атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод агрессивными выбросами промышленных предприятий.

Как известно, химический состав и минерализация инфильтрующихся вод относятся к числу основных факторов, определяющих интенсивность растворения и выщелачивания карстующихся пород. Экспериментальные исследования В.М. Левченко [1950] и др. показали, что растворимость CaCO_3 значительно меняется в присутствии различных солей, и при возрастании в воде содержания NaCl до 21 г/дм^3 растворимость карбонатных пород достигает 0.14 г/дм^3 . В различной степени стимулируют растворимость карбонатов MgSO_4 , NaSO_4 и MgCl_2 .

Интенсивное хозяйственное освоение (урбанизированные территории, районы разработки нефтяных месторождений, гидротехнического строительства, мелиорации и пр.) территории в районах развития этих пород вызвало изменение гидродинамического и гидрохимического режимов водоносных горизонтов и, как следствие, усиление карстово-суффозионных процессов и развитие техногенного их типа.

В исследуемом районе до начала его интенсивного *нефтедобывающего освоения* подзем-

ные воды имели гидрокарбонатный кальциевый и гидрокарбонатный магниевый-кальциевый состав с минерализацией $0.5\text{--}0.7 \text{ г/дм}^3$. Наиболее существенные изменения гидрогеологических условий произошли в результате разведки и эксплуатации нефтяных месторождений, при которых отмечалось проникновение пластовых рассолов с минерализацией до $250\text{--}270 \text{ г/дм}^3$ NaCl , CaCl_2 состава в верхние водоносные горизонты. Вследствие этого утратились естественные связи ионно-солевого состава подземных вод с литолого-минералогическими особенностями водовмещающей среды, что привело к появлению новых, ранее не свойственных отложениям гидрохимических типов. Минерализация подземных вод местами достигла $5\text{--}10$ и даже $20\text{--}28 \text{ г/дм}^3$ (рис. 4); одновременно воды стали хлоридными натриевыми и хлоридными кальциевонатриевыми. Эти растворы, обладая высокой агрессивностью к известнякам, вызвали значительное усиление карстовых процессов [Абдрахманов, Попов, 2014].

Бурение многочисленных скважин в районе Туймазинского, Шкаповского и др. нефтяных месторождений привело к нарушению сплошности разделяющих глинистых водоупоров в пермских отложениях и возникновению искусственных путей миграции трещинно-карстовых вод из верхних горизонтов в нижележащие. Вследствие нисходящих перетоков вод через гидрогеологические «окна» техногенного происхождения на некоторых участках существенно снизились уровни подземных вод, что привело к истощению ресурсов верхних водоносных горизонтов, исчезновению источников и пр. В результате карстующиеся пермские породы оказались в условиях зоны нисходящей вертикальной циркуляции вод и резко возросших градиентов фильтрации.

Процессы мощной активизации карста в пределах *промышленно-урбанизированной территории* мы наблюдали в пределах т.н. «Уфимского полуострова» (г. Уфа), где растворимые породы подвергаются воздействию нефтехимических, химических, коммунально-бытовых агрессивных сточных вод, насыщенных H_2S [Абдрахманов, 2019, 2020а, б].

Структурно-тектоническое положение кровли карстующихся пород является одним из основных факторов, определяющих неравномерное развитие карста на междуречье. Установлено, что современный рельеф в пределах междуречья во многом был предопределен рельефом кровли пород. Долины рек Сутолоки и Шугуровки внутри «полуострова» унаследовали отрицательные структурные формы.

Ведущую роль в карстово-суффозионном процессе на склонах долин рек здесь играют трещины бортового отпора. Они отчленяют от основного массива пород крупные блоки карстующихся и перекрыва-

ющих их отложений. Это способствует прямому перехвату как поверхностных (талых и дождевых), так и подземных вод и, как следствие, активизации карста и суффозии вдоль этих трещин.

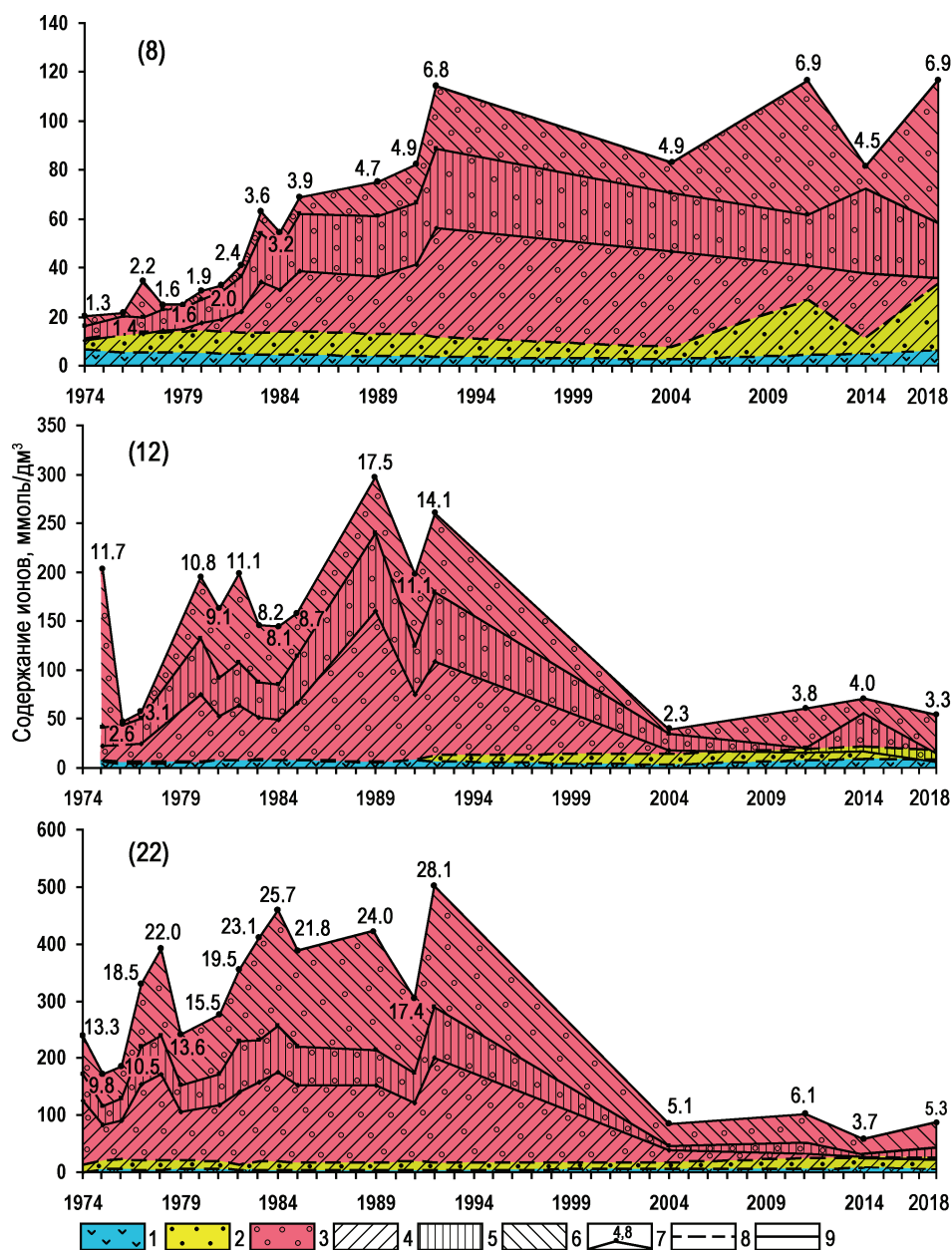


Рис. 4 Мониторинг химического состава и минерализации подземных вод в зоне развития сульфатных пород в пределах Туймазинского нефтяного месторождения

Условные обозначения: 1–6 — ионы: 1 — гидрокарбонатный, 2 — сульфатный, 3 — хлоридный, 4 — кальциевый, 5 — магниевый, 6 — натриевый и калиевый; 7 — минерализация (г/дм³); 8–9 — гидрогеохимические границы: 8 — анионного состава, 9 — катионного состава.

Fig. 4 Monitoring of the chemical composition and mineralization of groundwater in the zone of development of sulphate rocks within the Tuymazinsky oil field

Legend: 1–6 — ions: 1 — bicarbonate, 2 — sulfate, 3 — chloride, 4 — calcium, 5 — magnesium, 6 — sodium and potassium; 7 — mineralization (g/dm³); 8–9 — hydrogeochemical boundaries: 8 — anionic composition, 9 — cationic composition.

Отмечена тесная связь поверхностных карстопроявлений (воронки, провалы) и деформаций зданий, сооружений с погребенными формами древней речной сети [Абдрахманов и др., 2016]. Как правило, вдоль бортов палеодолин, заполненных в настоящее время неоген-четвертичными глинисто-суглинистыми отложениями, встречаются погребенные карстово-суффозионные формы, а также провалы и оседания в современном рельефе. На территории города неогеновая эрозионная сеть имела широкое развитие. Данные глубокого бурения и геофизические исследования позволяют проследить контуры переуглубленных палеодолин и палеорусел в современных долинах Белой, Уфы, Сутолоки. Ширина палеодолины в пределах современной долины реки Сутолока достигает 800–950 м. На Уфа-Бельском междуречье отмечены древние карстово-эрозионные котловины диаметром до 750–800 м, выполненные глинистыми осадками неоген-четвертичного возраста.

На склонах древних и современных долин породы сильно выветрены и разбиты трещинами бокового отпора, что способствует активному развитию карста. После того, как древняя эрозионная сеть была погребена под толщей преимущественно глинистых осадков (в период ачкагыльской ингрессии моря), дренажная роль этих врезов сохранилась вплоть до настоящего времени. Подземные воды, встречая на пути своего движения препятствие в виде заполненных глинами палеодолин и других древних эрозионных форм, начинают в зависимости от гидродинамических условий вертикальную восходящую или нисходящую фильтрацию с одновременным движением вдоль бортов палеодолин в направлении современных дренажных систем Белой и Уфы. Увеличение напорных градиентов фильтрации вдоль таких контактов ведет к перемещению тонкодисперсного материала в уже существующие или вновь возникающие карстовые каверны и полости, то есть вызывает процесс суффозии.

Следствием этого является образование карстово-суффозионных оседаний со средней скоростью 1–2 мм/год и даже крупных карстовых провалов. В настоящее время такой процесс продолжается. Недоучет его привел к тому, что многие здания и сооружения в Уфе оказались построенными в прибортовых частях палеодолин и других древних эрозионных врезов, т.е. на потенциально опасных участках.

Активному развитию карста способствует и гидродинамическая обстановка. На Бельско-Уфим-

ском междуречье наблюдается обратное соотношение уровней этажно-расположенных горизонтов с глубиной (уменьшение их абсолютных отметок), что является необходимым условием возникновения нисходящих межпластовых перетоков подземных вод. Градиент фильтрации здесь в основном имеет положительную ($I > 0$) величину (за исключением долины р. Шугуровки). Такие условия вместе с интенсивной трещиноватостью пород (особенно на склонах долин) способствуют переводу агрессивных по отношению к карстующимся породам (дефицит насыщения достигает 1.7–2.1 г/дм³) атмосферных осадков, поверхностных и подземных вод в глубину.

Заключение

Широкое развитие на Южном Урале и в Предуралье карстово-суффозионных процессов и связанных с ними проявлений поверхностных и подземных форм (воронок, провалов, слепых оврагов, каверн, полостей и пещер) является следствием не только естественных, но и активных техногенных факторов, причем воздействие последних во многом соизмеримо с природными. Совместное воздействие техногенного и естественного процессов ведет к резкому усилению карста и суффозии. Такие условия характерны для склоновых и присклоновых участков, где происходят перетоки грунтовых вод в низезалегающие карстовые водоносные горизонты. Зоны перетекания подземных вод и поглощения поверхностного стока вдоль склонов долин рек являются и потенциальными очагами загрязнения карстовых вод. Разгрузка этих вод в условиях перекрытого карста происходит вдоль палеорусел или через «гидрогеологические окна» в пределах долин рек Белой, Уфы и их притоков, то есть уже в настоящее время имеются постоянные очаги питания аллювиальных вод загрязненными карстовыми водами, а, следовательно, постоянного подтока их к существующим инфильтрационным водозаборам.

Работа выполнена по теме № 0246-2019-0086.

Список литературы:

Абдрахманов Р.Ф. Гидрогеохимия урбанизированных территорий Южного Предуралья // Геохимия. 2019. Т. 64, № 7. С. 733–741. DOI: 10.31857/S0016-7525647733-741

Абдрахманов Р.Ф. Вода — самый сложный природный раствор // Геологический вестник. № 2. 2020 а. С. 110–115. Doi: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2020-2-9>

Абдрахманов Р.Ф. Значение палеодолин в активизации карста на территории г. Уфы // Гидрогеология и карстоведение: Межвузовский сборник научных трудов. Пермь, 2020 б. Вып. 20. С. 154–159.

Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г. Эколого-геохимическая трансформация зоны гипергенеза под влиянием нефтедобывающего комплекса // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2014. № 3. С. 195–206.

Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г. Связь карста с неогеновыми долинами системы Палео-Белой в Южном Предуралья // Геоморфология. 2017 а. № 3. С. 48–59. DOI: 10.7868/S0435428117030051

Абдрахманов Р.Ф., Попов, В.Г. Геохимия и формирование подземных вод в переуглубленных долинах системы Палео-Белой // Известия Уфимского научного центра РАН. 2017 б. № 3. С. 95–100.

Абдрахманов Р.Ф., Смирнов А.И. Карст Южного Предуралья и его активизация под влиянием техногенеза // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2016. № 4. С. 353–361.

Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г., Смирнов А.И. Распространение карста на территории Башкортостана и его значение для практики // Вестник АН РБ. 2016. Т. 21, № 4. С. 81–90.

Абдрахманов Р.Ф., Тюр В.А., Юров В.М. Юмагузинское водохранилище: Формирование гидрологического и гидрохимического режимов. Уфа: Информреклама, 2008. 152 с.

Абдрахманов Р.Ф., Мартин В.И., Попов В.Г., Рождественский А.П., Смирнов А.И., Травкин А.И. Карст Башкортостана. Уфа: Информреклама, 2002. 383 с.

Левченко В.М. О растворимости сульфата кальция // Гидрохимические материалы. 1950. Т. 17. С. 69–73.

Лыкошин А.Г. Павловская плотина на реке Уфа // Геология и плотины. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1959. Т. 1. С. 35–60.

References:

Abdrakhmanov R.F. (2019) Hydrogeochemistry of urban territories in the southern fore-Ural areas. *Geochemistry International*, **57**(7), 812-820.

Abdrakhmanov R.F. (2020a) Water is the most complicated natural solution. *Geologicheskii vestnik – Geological Bulletin*, (2), 110-115. DOI: 10.31084/2619-0087/2020-2-9 (In Russian).

Abdrakhmanov R.F. (2020b) The value of paleovalleys in the activation of karst on the territory of Ufa city. *Gidrogeologiya i karstovedenie. Mezhvuzovskii sbornik nauchnykh trudov* [Hydrogeology and Karst Studies. Interuniversity Collection of Scientific Papers]. Perm', Issue 20, 154-159. (In Russian)

Abdrakhmanov R.F., Popov V.G. (2014) Ecological and geochemical transformation of the hypergenesis zone under the influence of the oil-producing complex. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya – Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology*, (3), 195-206. (In Russian).

Abdrakhmanov R.F., Popov V.G. (2017 a) Relations between karst and the neogene Paleo-Belaya valley network, Southern Cis-Urals region. *Geomorfologiya*, (3), 48-59. (In Russian).

Abdrakhmanov R.F., Popov V.G. (2017 b) Geochemistry and formation of ground waters in overdeepened valleys of the Paleo-Belaya system. *Izvestiya Ufmskogo nauchnogo centra RAN – Bulletin of the Ufa Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, (3), 95-100. (In Russian).

Abdrakhmanov R.F., Smirnov A.I. (2016) Karst in the southern fore-Ural areas and its activation under the influence of technogenesis. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya – Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology*, (4), 353-361. (In Russian).

Abdrakhmanov R.F., Popov V.G., Smirnov A.I. (2016) Distribution of karst in Bashkortostan and its importance for practice. *Vestnik Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan – Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan*, **21**(4), 81-90. (In Russian).

Abdrakhmanov R.F., Tyur V.A., Yurov V.M. (2008) *Yumaguzinskoe vodохранилище: Formirovanie gidrologicheskogo i gidrohimicheskogo rezhimov* [Yumaguzinskoe reservoir: Formation of hydrological and hydrochemical regimes]. Informreklama Publ., Ufa, Russia, 152 p. (In Russian).

Abdrakhmanov R.F., Martin V.I., Popov V.G., Rozhdestvenskii A.P., Smirnov A.I., Travkin A.I. (2002) *Karst Bashkortostana* [Karst of Bashkortostan]. Informreklama Publ., Ufa, Russia, 384 p. (in Russian).

Levchenko V.M. (1950) About the solubility of calcium sulfate. *Gidrohimiicheskie materialy – Hydrochemical materials*, **17**, 69–73. (In Russian).

Lykoshin A.G. (1959) Pavlovskaya dam on the Ufa river. *Geologiya i plotiny* [Geology and dams]. Gosenergoizdat. Moscow – Leningrad, Russia, Vol. 1, 35–60. (In Russian).

Сведения об авторах:

Абдрахманов Рафил Фазылович, доктор геол.-мин. наук, профессор, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: hydro@ufaras.ru

Дурнаева Вера Николаевна, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: hydro@ufaras.ru

Полева Александра Олеговна, кандидат биологических наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: hydro@ufaras.ru

Бакиева Альбина Радиковна, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: hydro@ufaras.ru

About the authors:

Abdrakhmanov Rafil Fazilovich, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: hydro@ufaras.ru

Durnaeva Vera Nikolaevna, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: hydro@ufaras.ru

Poleva Aleksandra Olegovna, candidate of biological sciences Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: hydro@ufaras.ru

Bakieva Albina Radikovna, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: hydro@ufaras.ru