
**ПРИРОДНЫЕ
И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ**

УДК 551.44:624.15(470.4/.5)

**КАРСТ ЮЖНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ И ЕГО АКТИВИЗАЦИЯ
ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЕХНОГЕНЕЗА**

© 2016 г. Р. Ф. Абдрахманов, А. И. Смирнов

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

Поступила в редакцию 01.01.2015 г.

После исправления 29.09.2015 г.

Рассмотрены развитие карстового процесса и его активизация под влиянием техногенеза на примере Южного Предуралья – района классического развития сульфатного и карбонатного карста. Он здесь развит на 50% территории. Поверхностные формы проявления карста: слепые и сухие долины, воронки диаметром до 150, глубиной до 30 м, плотностью 25–50, иногда 100 на 1 км², встречаются воронки с разгрузкой карстовых вод 100–400 дм³/с. Активные поверхностные карстопоявления приурочены к современным и палеодолинам рек. Техногенная активизация карста наиболее интенсивно происходит в районах нефтедобывающего комплекса (разрабатываемого более 70 лет), в промышленно-урбанизированных территориях с развитой нефтехимической и химической промышленностью. Приведена карта закарстованности территории г. Уфы с качественной оценкой устойчивости территорий для строительства. Оценка карстовой опасности и ее прогноз на рассматриваемой территории – одна из приоритетных задач, решение которой направлено на предупреждение чрезвычайных и других неординарных ситуаций.

Ключевые слова: *карбонатный карст, сульфатный карст, кластокарст, техногенез, химический состав подземных вод, активизация карста, карстомониторинг.*

Среди опасных геологических процессов на Южном Предуралье особое значение имеет карстовый процесс. Развитие карстового процесса здесь ухудшает условия строительства; вынуждает проводить специальные дополнительные изыскания, предусматривать и осуществлять меры противокарстовой защиты, а при авариях на инженерных сооружениях, обусловленных развитием карста, – затрачивать значительные средства, направленные на их ликвидацию [3, 9]. Предупреждение чрезвычайных ситуаций, вызванных развитием карстового процесса, возможно только на основе первоначальной оценки карстоопасности, которая может быть определена путем прогнозирования современной активности развития карстового процесса в естественных и техногенно-нарушенных условиях. На половине рассматриваемой территории развиты карстующиеся горные породы, а около 30% ее поверхности поражено поверхностными и подземными карстопоявлениями; 45% городского и не менее 20% сельского населения проживает в районах развития карста.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследований – карбонатные и сульфатные породы, развитые в карстовой стране Восточно-Европейской равнины. Район исследований ограничен с востока Уральской карстовой страной. Здесь выделяются: равнинный карст, в горизонтально- и пологозалегающих породах – I-A, равнинный и предгорный карст в пологозалегающих и слабодислоцированных породах – I-B (рис. 1). В Южном Предуралье в зоне активного водообмена (верхняя зона карстосферы) карст развит в карбонатных и сульфатных породах.

Карбонатный карст широко представлен вдоль передовых складок Южного Урала в полосе развития пород каменноугольного возраста, на Уфимском плато в породах артинского яруса пермской системы и в известняках казанского яруса на Белебеевской возвышенности (см. рис. 1). Из карбонатных пород более подвержены карстованию органогенно-обломочные и чистые рифогенные разности. Кремнистые и битуминозные известняки характеризуются монолитностью, поэтому в

них крупные карстовые формы не наблюдаются. Типичные карстовые формы – воронки, часто с понорами, колодцы, провалы, карстовые овраги, суходолы, исчезающие реки, мощные карстовые источники с озерами, каверны, пещеры, каналы и пр. Наиболее широко распространены карстовые воронки. Обычно они встречаются в виде цепочек (часто этажно расположенных) по днищам суходолов, в верховьях логов, оврагов и на водоразделах. Диаметр воронок обычно 3–25 м, иногда достигает 100–150 м, а глубина их колеблется от 1 до 3 м, редко более. Плотность воронок изменяется от 7 до 70 на 1 км длины карстового поля в днищах долин. Типичными карстовыми формами для Уфимского плато (особенно южной части) также являются и суходолы (Яман-Елга, Круш, Бердяшка и др.). Сток по ним имеется только на отдельных участках, обычно в верховьях. Даже весной не все они имеют водоток. Движение подземных вод происходит от менее закарстованных ядер водоразделов к днищам долин и суходолов, под которыми (как наиболее закарстованными участками) образуются концентрированные водотоки, направленные вдоль палеодолин рек и проявляющиеся в их устьях крупными родниками (Красный Ключ – 5–58 м³/с, Сарва – 0.35–2.9 м³/с).

В зависимости от интенсивности трещиноватости и закарстованности карбонатных пород их проницаемость значительно изменяется. В районе Павловской ГЭС коэффициенты фильтрации пород составляют от 0.1 до 300 м/сут, участками достигая 530 м/сут и более, а удельное водопоглощение – до 100–128.9 дм³/м [5]. Современная скорость карбонатного карста невелика и опасности для гидротехнических и других сооружений не представляет. В то же время реальной угрозой является возможность суффозионного выноса заполнителя карстовых полостей в карбонатных массивах в связи с изменением гидродинамического режима подземных вод, что требует в основании и бортах долин создания противофильтрационных экранов при строительстве гидротехнических и других сооружений.

Сульфатный карст связан с гипсами кунгурского яруса и развит в восточной части Камско-Бельского понижения. Наиболее интенсивно он развит на Уршак-Бельском, Сим-Уфимском, Уфа-Бельском междуречьях, а также на западном обрамлении Уфимского плато в бассейнах рек Туй, Ар, Бирь, Изяк и др. В Бельской части Предуральского краевого прогиба карст проявляется локально в пределах меридионально вытянутых кунгурских валов. По долинам рек Белой (от ши-

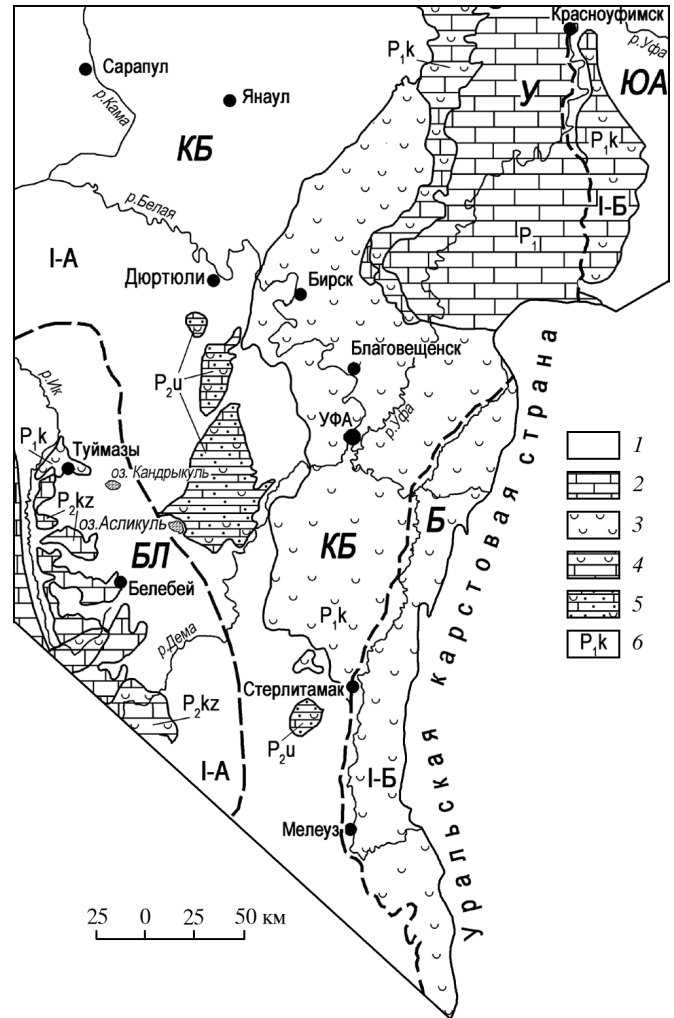


Рис. 1. Типы карста Южного Предуралья [7]: 1 – площади без проявления карста на поверхности; литологические типы карста: 2 – карбонатный, 3 – сульфатный, 4 – сульфатно-карбонатный, 5 – кластокарст; 6 – индекс возраста карстующихся пород. Морфолого-генетические типы карста: I-A – равнинный карст в горизонтально и пологозалегающих породах, I-B – равнинный и предгорный карст в пологозалегающих и слабодислоцированных породах. Формы рельефа: KB – Камско-Бельское понижение; БЛ – Белебеевская возвышенность; У – Уфимское плато; ЮА – Юрюзано-Айское понижение; Б – Бельское понижение.

роты г. Салавата до г. Бирска), Уфы, Сима, Демы, Уршака, Бири, Ика (нижние и средние течения) развит подальновияльный карст. Карстующиеся гипсы перекрыты глинистыми и гравийно-галечными отложениями плейстоцена и плиоцена. Каверны, пустоты и полости размером 2.5–6.5 м широко распространены значительно ниже вреза современных речных долин, но выше базиса эрозии переуглубленных долин (рис. 2) системы Палео – Белой (абс. отм. до минус 50–60 м). Они зафиксированы скважинами на глубинах от 30 до 130 м, иногда до 240 м. В среднем мощность

более водообильные (водопроницаемые) зоны. Коэффициенты фильтрации пород в них достигают 100 м/сут и более. На Юрюзано-Айской равнине карстопоявления связаны с брекчиевыми известняками лемазинской свиты и песчаниками кошелевской свиты кунгурского яруса, содержащими линзы и прослой гипсов (см. рис. 1). На площадях развития известняков лемазинской свиты отмечаются обычно одиночные карстовые воронки или небольшие их скопления. И лишь в бассейне р. Кошелевка плотность воронок достигает 56 на 1 км². Диаметр воронок от 5 до 40 м, глубина 1,5–10 м. В гипсах кошелевской свиты карстовые процессы более интенсивны. На междуречьях Юрюзань – Атавка, Кошелевка – Атавка количество воронок на карстовых полях возрастает до 300–900, а плотность – до 100–200 на 1 км². На стенках воронок обнажаются гипсы. Воронки округлой или вытянутой формы (иногда заполнены водой) диаметром от 5 до 120 м. Встречаются карстовые котловины протяженностью до 340 м, суходолы, исчезающие речки и пр. Сульфатно-карбонатный карст на Белебеевской возвышенности развит в бассейнах рек Демы (в районе устья р. Уязы), Ика (верхнее течение). Здесь среди известняков имеются прослой гипсов, мощностью от 2 до 18 м, а на границе с Оренбургской обл. верхнеказанские известняки и терригенные породы почти полностью замещаются гипсами.

В бассейнах верхнего течения рек Демы, Ика площади карстовых полей достигают 20 км², образование их связано с дренирующим влиянием близких эрозионных врезов. Карстовые воронки диаметром от 8 до 110 м и глубиной до 20 м обычно приурочены к I, II надпойменным террасам и крутым склонам долин Демы, Ика, Уязы, руч. Шкаповского, образуя небольшие цепочки, совпадающие с преобладающим направлением трещиноватости. Плотность карстовых воронок колеблется от 7 до 39 на 1 км².

Кластокарст. Под кластокарстом авторы вслед за Г.А. Максимовичем, И.А. Печеркиным и другими карстоведами пермской школы понимают совокупность подземных и поверхностных скульптурных и аккумулятивных форм, образованных в осадочных терригенных породах (глинах, песчаниках, алевролитах, конгломератах и др.) под влиянием процессов химического и механического воздействия инфильтрованных вод. При этом подземная химическая денудация заключается в растворении и экстракции цемента (гипсового или карбонатного) и выносе его подземным потоком в области разгрузки. Механическое воздействие – это транспортировка терригенных частиц

различного размера в условиях изменяющегося градиента фильтрации. В Южном Предуралье кластокарстовые проявления занимают около 30% его территории. Наиболее свойственны они гипсоносным глинам, алевролитам, песчаникам уфимского и казанского возраста, развитым в бассейнах рек Ика, Демы, Сюня, Базы, Чермасана и др. (см. рис. 1). Общая мощность верхнепермской терригенной (карбонатно-терригенной, сульфатно-терригенной) толщи достигает здесь 200–300 м. Количество CaSO₄ в цементе пород обычно составляет 3–7%, CaCO₃ – до 35%.

В результате совокупного влияния химической и отчасти механической форм массопереноса происходит разуплотнение отложений и, как следствие, увеличение их пустотности и проницаемости. На участках наиболее интенсивного протекания кластокарстового процесса коэффициенты фильтрации возрастают на один порядок и более. В сульфатизированных терригенных породах под влиянием процессов экстракции и ионного обмена формируются минеральные сульфатные кальциевые (2–3 г/дм³) и натриевые (до 15 г/дм³) воды.

В условиях неглубокого залегания обогащенных гипсом осадков образование подземных форм сопровождается и поверхностными кластокарстовыми проявлениями (просадки, провалы). Последние в отличие от районов типичного сульфатного карста выражены значительно слабее. Однако в обстановке интенсивного техногенного воздействия активность кластокарстового процесса может существенно возрасти. Подобные явления отмечены на участках проникновения в терригенные породы хлоридных рассолов (районы нефтедобывающих предприятий, городских агломераций). Процессы химического и механического воздействия резко активизируются в результате строительства гидротехнических сооружений (водохранилищ, прудов), вызывающих рост вертикальных и горизонтальных градиентов напора. Так, создание водоема с напором до 10 м на р. Агарды (бассейн р. Кармасан) вызвало растворение и выщелачивание включений и прослоев гипса (до 7 см) среди аргиллитоподобных глин, вынос CaSO₄ и глинистых частиц в нижний бьеф. В результате в верхнем бьефе, основании левого склона долины, уже на 2-й год его эксплуатации возникла цепочка воронок диаметром до 2 м, глубиной до 1 м, после чего за несколько часов произошло полное осушение водоема емкостью 0,9 млн м³.

Как известно, химический состав и минерализация инфильтрующихся вод относятся к числу ос-

новых факторов, определяющих интенсивность растворения и выщелачивания сульфатных и карбонатных осадков. Экспериментальные исследования В.М. Левченко [4] и др. показали, что растворимость CaSO_4 и CaCO_3 значительно меняется в присутствии различных солей. Растворимость сульфата кальция растёт с увеличением концентрации хлористого натрия, достигая максимума (7.48 г/дм^3) при содержании NaCl , равным 129.6 г/дм^3 , а затем постепенно снижается до 5.19 г/дм^3 в концентрированном растворе этой соли, близком к состоянию насыщения. Растворимость CaCO_3 повышается вдвое (с 0.06 до 0.14 г/дм^3) при возрастании NaCl от 0 до 21 г/дм^3 . В различной степени стимулируют растворимость карбонатов MgSO_4 , NaSO_4 и MgCl_2 .

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Техногенная активизация карста наиболее полно проявляется в районах развития сульфатного и сульфатно-карбонатного карста. Интенсивное хозяйственное освоение (разработка нефтяных месторождений, гидротехническое строительство, мелиорация и пр.) территории в районах развития этих типов карста вызвало изменение гидродинамического и гидрохимического режимов водоносных горизонтов и, как следствие, усиление карстовых процессов и развитие техногенного его типа [3].

В исследуемом районе до начала его интенсивного *нефтедобывающего освоения* подземные воды имели гидрокарбонатный кальциевый и гидрокарбонатный магниевый-кальциевый состав с минерализацией $0.5\text{--}0.7 \text{ г/дм}^3$. В загипсованных породах формировались сульфатные кальциевые воды с минерализацией до $2\text{--}2.8 \text{ г/дм}^3$. Наиболее существенные изменения гидрогеологических условий произошли в результате разведки и эксплуатации нефтяных месторождений, при которых отмечалось проникновение пластовых рассолов NaCl , CaCl_2 состава с минерализацией $250\text{--}270 \text{ г/дм}^3$ в верхние водоносные горизонты [2]. 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 $10\text{--}15$ и даже 70 г/дм^3 ; одновременно воды стали хлоридными натриевыми и хлоридными кальциево-натриевыми. Эти растворы, обладая высокой агрессивностью к гипсам и известнякам, вызвали значительное уси-

ление карстовых процессов. В среднем и верхнем течении р. Ик авторами в пределах Шкаповского и Туймазинского нефтяных месторождений режимными наблюдениями в течение $1\text{--}2$ лет отмечено интенсивное образование свежих воронок и колодцев с понорами диаметром $2.5\text{--}10 \text{ м}$ и глубиной $3\text{--}5 \text{ м}$, осушение небольших озёр и пр. Наиболее активизировался процесс в местах сосредоточенной разгрузки агрессивных рассолов в карстующиеся породы.

Бурение многочисленных скважин 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, что вызвало интенсификацию карстовых процессов.

Процессы мощной активизации карста в пределах *промышленно-урбанизированной территории* авторы наблюдали в пределах г. Уфы, где растворимые породы подвергаются воздействию нефтехимических, химических, коммунально-бытовых агрессивных сточных вод, насыщенных H_2S . В пределах города развит сульфатный и сульфатно-карбонатный карст. По степени защищённости сверху некарстующимися породами преобладают два типа: перекрытый (камский) в пределах долин Белой и Уфы, и закрытый (русский) на междуречье. Наряду с закрытым на междуречье имеются участки перекрытого, покрытого и голого карста.

Структурно-тектоническое положение кровли карстующихся пород – один из основных природных факторов, определяющих неравномерное развитие карста на междуречье. Установлено, что современный рельеф в пределах междуречья во многом был предопределён рельефом кровли гипсов. Долины рек Сутолоки и Шугуровки внутри “полуострова” унаследовали отрицательные структурные формы по кровле гипсов, а возможно, и зоны тектонических нарушений. Карстовый процесс наиболее активен в пределах гипсовых куполовидных поднятий, особенно на участках, где они подрезаны эрозией вдоль правых крутых бортов долин рек Белой и Уфы. Ведущую роль в карстово-суффозионном процессе на склонах до-

лин рек играют трещины бортового отпора. Они отчлениают от основного массива пород крупные блоки карстующихся и перекрывающих 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.

Изысканиями последних лет выявлена 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 неогеново-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. В г. Уфе 30–40% деформированных зданий расположено в подобных условиях [3].

В пределах г. Уфы широко развита древняя эрозионная сеть. Данные глубокого бурения и геофизические исследования позволяют проследить контуры переуглубленных (т.е. наиболее глубоких) палеодолин и палеорусел в современных долинах рек Белой и Уфы (см. рис. 2). Древние склоны долин, как и современные, сопровождаются сильной выветрелостью пород и трещинами бортового отпора, которые способствовали активному развитию карстового процесса вдоль них. После того как вся древняя эрозионная сеть была погребена под толщей преимущественно глинистых отложений (в период ачкагыльской ингрессии моря), дренажная роль этих врезов сохранилась до настоящего времени. Подземные воды, встречая на пути своего движения препятствие в виде заполненных глинами палеодолин и других древних эрозионных форм, начинают вертикально восходящую или вертикально нисходящую фильтрацию с одновременным движением вдоль бортов в направлении современных дренирующих систем Белой и Уфы. Естественное увеличение напорных градиентов фильтрации вдоль таких контактов вызывает перемещение тонкодисперсного материала в уже существующие или возникающие карстовые каверны и полости, т.е. суффозию. Следствием этого является образование карстово-суффозионных оседаний со средней скоростью 1–2 мм в год. В настоящее время эти процессы продолжаются, и их недоучет привел к тому, что многие здания и сооружения в Уфе оказались построенными в прибортовых частях палеодолин (палеорусел) и других древних эрозионных врезов и испытывают деформации.

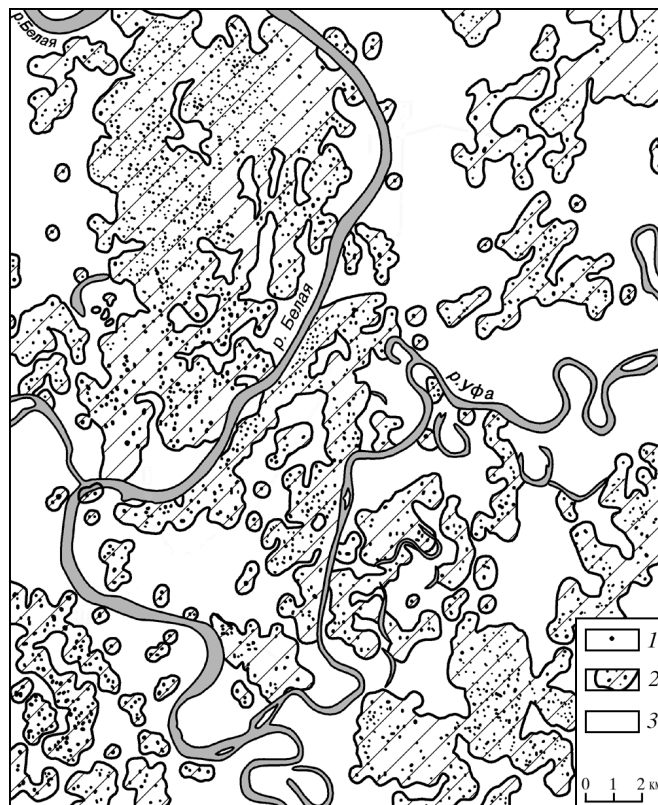


Рис. 3. Карта закарстованности территории г. Уфы [3]: 1 – карстовые воронки и провалы (территории очень неустойчивые и неустойчивые для строительства); 2 – территории вокруг воронок (недостаточно устойчивые и несколько пониженной устойчивости); 3 – территории за пределами карстовых полей (относительно устойчивые).

Кроме естественных карстовых форм (воронки, котловины, пещеры и пр.) в пределах южной части “Уфимского полуострова” (в основном в междуречье Уфа – Сутолока) имеются многочисленные заброшенные открытые (карьеры) и подземные (штольни) горные выработки, где велась добыча гипса. Суммарная протяженность подземных выработок на правом берегу р. Уфы достигает нескольких километров.

Все существующие поверхностные карстопоявления и вновь образующиеся провалы определенным образом взаимосвязаны. Установлено, что современные карстовые провалы образуются вблизи уже существующих поверхностных карстопоявлений. Вблизи воронок провалы встречаются чаще, чем на некотором удалении от них, а на расстоянии более 250 м от воронок провалы практически не встречаются. Эта зависимость использована при районировании территории Уфы и ее окрестностей по степени устойчивости для строительства относительно карстовых провалов (рис. 3). На карте закарстованности г. Уфы отмечены воронки и контуры вокруг воронок на рас-

стоянии 250 м. Как видно, карта даже такого масштаба позволяет в первом приближении судить о степени устойчивости и пригодности территории для капитального строительства. В пределах карстовых воронок – территория неустойчивая и непригодная для любого типа капитального строительства. Территория вокруг воронок на расстоянии до 250 м недостаточно устойчивая, но может быть застроена с применением мер противокарстовой защиты возводимых сооружений, т.е. усиления конструкции фундаментов и самих зданий, а возможно и ликвидации полостей, если их размер является критическим и возможно обрушение их сводов и образование провала на поверхности [3]. Данный вывод впоследствии был подтвержден для всей территории Южного Предуралья. Территория за пределами контуров карстовых полей может застраиваться сооружениями повышенной этажности без каких-либо мер защиты. Лишь на междуречьях потребуются профилактические меры защиты, направленные на сохранение естественной гидрогеологической обстановки, т.е. на предотвращение возможной активизации карстово-суффозионного процесса (надежный водоотвод, прокладка водонесущих коммуникаций в кожухах и др.).

Карстовые провалы, являющиеся показателем современной активности карста, происходят довольно часто на междуречьях, реже в пределах долин рек. Так, на территории г. Уфы, где проживает около 25% населения Башкортостана за последние 100 лет зафиксировано около 320 карстовых провалов, т.е. в среднем три провала в год. Обычно они образуются весной после снеготаяния и осенью в дождливый год, либо в последующий за ним засушливый год. Многолетними исследованиями установлено закономерное увеличение частоты провалов во времени. При этом подавляющее большинство карстовых провалов (254) образовалось на склонах, во много раз меньше (47) в долинах и незначительное количество (12) на присклоновых участках и междуречье.

Наиболее активно карст проявляется на “Уфимском карстовом косогоре”. В связи с прокладкой в конце XIX в. Самара-Златоустовской железной дороги, эта территория стала классическим примером изучения условий развития сульфатного карста, что отражено во многих работах Д.Л. Иванова, Г.Г. Скворцова, А.Н. Фонарева, В.И. Мартина, А.И. Смирнова и др. На косогоре сосредоточено около 300 карстовых форм (воронок, провалов, поноров, слепых оврагов). Плотность воронок составляет в среднем 36 на 1 км²; коэффициент закарстованности – 0.28%, в пределах оврагов

он достигает 3–13%, а на межовражьях не превышает 0.04%, т.е. последние почти не затронуты карстом. Это же подтверждается распределением карстовых провалов в рельефе. Из 26 карстовых провалов, образовавшихся за последние десятилетия, 14 (54%) приурочены к днищам оврагов, 4 (15%) образовались на склонах оврагов и в подножье косогора, по 2 (8%) – на железнодорожном полотне и межовражьях. Глубина провалов до 1.2 м, диаметр не превышает 1.7 м.

В настоящее время проявление карста на поверхности в г. Уфе продолжается с не меньшей активностью, чем 10–20 лет тому назад. По данным оперативной сводки Башкирского территориального центра мониторинга состояния недр ОАО “Башкиргеология” о проявлениях экзогенно-геологических процессов, только в 2014 г. в Уфе образовалось два новых провала. Последний провал произошел 13.11.2014 г. на ул. Авиаторская, имел цилиндрическую форму с поперечником 4.5–5.0 м при глубине 4.4–4.5 м. Систематизированные авторами данные по провалам Южного Предуралья за последние 25 лет свидетельствуют, что 1 раз в 3–4 года образуются аномально крупные карстовые провалы с поперечником и глубиной более 15 м. Наиболее крупный такой провал образовался в октябре 2012 г. в 2 км севернее д. Карламанбаш (Рязано-Охлебининский вал), размером 36 × 40 м с поверхности при глубине 20–21 м [8].

Широкое развитие на территории г. Уфы карстово-суффозионных процессов и связанные с ними проявления поверхностных и подземных форм (воронки, провалы, слепые овраги, каверны, полости и пещеры) являются следствием не только естественных, но и техногенных факторов, причем влияние последних во многом соизмеримо с природными. Совместное воздействие техногенного и естественного процессов ведет к резкому усилению карста и суффозии.

Рост города и освоение территорий, ранее считавшихся непригодными для градостроительных целей, неизбежно сопровождается серьезным воздействием человека на геологическую среду. Это ведет к значительному изменению рельефа, уничтожению поверхностных микроформ, почвенного покрова, нарушению глинисто-суглинистого чехла покровных отложений, к изменению физико-механических свойств грунтов и гидрогеологической обстановки.

К числу факторов, способствующих активизации карстово-суффозионных процессов, относятся: нарушение водоупорных свойств покровных отложений, возникновение техногенных источ-

ников формирования подземных вод (различно-го рода утечки из водонесущих коммуникаций), механическое воздействие производственно-технологических процессов (забивка свай, вибрационные нагрузки от механизмов и др.), загрязнение атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод агрессивными выбросами промышленных предприятий. Один из наиболее существенных факторов – утечки из водонесущих коммуникаций (водопровод, канализация, теплосети). Расчеты показывают, что доля этих утечек в питании подземных вод достигает 25–30, иногда до 50% [1]. Длительные утечки создают техногенные водоносные горизонты, что неизбежно ведет к активизации карстово-суффозионного процесса на потенциально предрасположенных к этому территориях. В результате на таких участках образуются провалы и проседания и, как следствие, происходят деформации трасс, зданий и сооружений, а также загрязнение подземных вод. Подтверждение сказанному – деформации более 25 зданий в г. Уфе.

Оценка степени устойчивости закарстованных территорий для строительства в Уфе проводится путем системного анализа основных условий и факторов, определяющих активность и скорость развития карста. Разработанные региональные нормативно-методические документы позволяют с достаточной достоверностью вести оценку степени устойчивости закарстованных участков для строительства. Тем не менее количество случаев аварийных и катастрофических ситуаций за последние 25 лет неуклонно увеличивается. Средний период возникновения аварий, связанных с воздействием техногенных процессов, составляет 11–17 лет со дня ввода сооружений в эксплуатацию, причем с 1990-х годов наметилась тенденция к уменьшению этого времени и росту числа аварийных объектов. В весенне-летнее время деформации оснований зданий и сооружений по этой причине происходят чаще, чем зимой. В 70–80% случаев их основная причина – техногенные факторы, вызывающие подтопление территории и, как следствие, активизацию развития карстово-суффозионного процесса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Неблагоприятные последствия развития карстового процесса, которые должны учитываться в народнохозяйственной деятельности, связаны с осложнениями при любых видах строительства на закарстованных территориях, в том числе промышленного, гражданского и гидротехнического, при сельскохозяйственном освоении закарсто-

ванных земель. Особо опасны карстовые и суффозионно-карстовые процессы в гипсах, ведущие к образованию карстовых провалов и, как следствие – к деформации жилых и промышленных объектов. Существенно интенсифицирует карст и сопутствующие ему негативные явления (суффозию, просадки, обвалы и др.) хозяйственная деятельность человека, коренным образом изменяющая гидрогеодинамическую и гидрогеохимическую ситуацию как в самих закарстованных породах, так и в выше- и нижезалегавших толщах.

Из изложенного выше следует, что пространственные закономерности развития карста в нарушенных условиях под влиянием техногенеза на рассматриваемой территории во временном интервале остаются слабо раскрытыми. В связи с этим на современном этапе изучения карста весьма актуальна организация карстового мониторинга различного уровня и целевого назначения, который позволит дать научно обоснованный анализ закономерностей формирования и распространения карста, прогнозировать динамику его развития во времени и в пространстве, использовать эту информацию для решения практических задач в области инженерной геологии и гидрогеологии на закарстованных территориях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абдрахманов Р.Ф.* Гидрогеоэкология Башкортостана. Уфа: Информреклама, 2005. 344 с.
2. *Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г.* Эколого-геохимическая трансформация зоны гипергенеза под влиянием нефтедобывающего комплекса // *Геоэкология*. 2014. № 3. С. 195–206.
3. *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.
4. *Левченко В.М.* О растворимости сульфата кальция // *Гидрохимические материалы*. 1950. Т. 17. С. 69–73.
5. *Лыкошин А.Г.* Павловская плотина на реке Уфа // *Геология и плотины*. Т. I. М.–Л.: Госэнергоиздат, 1959. С. 35–60.
6. *Рождественский А.П.* Новейшая тектоника и развитие рельефа Южного Приуралья. М.: Наука, 1971. 304 с.
7. *Смирнов А.И.* Геологическое строение. Карст // *Атлас Республики Башкортостан*. Уфа: Изд-во “Башкортостан”, 2005. С. 60.
8. *Смирнов А.И.* Аномально крупные карстовые провалы Южного Урала и Предуралья // *Геологический сборник № 10. Информационные материалы*. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2013. С. 50–56.

9. Смирнов А.И., Абдрахманов Р.Ф. Карстоопасность территории Республики Башкортостан // Вестник АН РБ. 2007. Т. 12. № 2. С. 5–11.

REFERENCES

1. Abdrakhmanov, R.F. *Gidrogeoeкологиya Bashkortostana* [Hydrogeoeecology of Bashkortostan]. Ufa, Informreklama, 2005, 344 p. (in Russian).
2. Abdrakhmanov, R.F., Popov, V.G. *Ekologo-geokhimicheskaya transformatsiya zony gipergeneza pod vliyaniem neftedobyvayushchego kompleksa* [Ecological and geochemical transformation of the hypergenesis zone under the impact of oil-production industry]. *Geoekologiya*. 2014, no. 3, pp. 195–206 (in Russian).
3. Abdrakhmanov, R.F., Martin, V.I., Popov, V.G., Rozhdestvenskii, A.P., Smirnov, A.I., Travkin, A.I. *Karst Bashkortostana* [Karst in Bashkortostan]. Ufa, Informreklama, 2002, 383 p. (in Russian).
4. Levchenko, V.M. *O rastvorimosti sulfata kal'tsiya* [On the solubility of calcium sulphate]. *Gidrokhimicheskie materialy*, 1950, vol. 17, pp. 69–73 (in Russian).

5. Lykoshin, A.G. *Pavlovskaya plotina na reke Ufa* (The Pavlovka dam on the Ufa River]. *Geologiya i plotiny*. Vol. 1. Moscow-Leningrad: Gosenergoizdat, 1959, pp. 35–60 (in Russian).
6. Rozhdestvenskii, A.P. *Noveyshaya tektonika i razvitie rel'efa Yuzhnogo Priural'ya*. [Recent tectonics and the landform development in the South CisUral Region], Moscow, Nauka, 1971, 304 p. (In Russian).
7. Smirnov, A.I. *Geologicheskoe stroenie. Karst* [Geological structure. Karst]. *Atlas Respubliki Bashkortostan* [Atlas of the Bashkortostan Republic]. Ufa, Bashkortostan Publ., p. 60 (in Russian).
8. Smirnov, A.I. *Anomalno krupnye karstovye provaly Yuzhnogo Urala i Predural'ya* [Abnormally large karst sinkholes in the South Urals and the CisUrals]. *Geologicheskii sbornik no. 10*. [Collection of articles in geology no. 10]. Ufa, IG UNTs RAN, 2013, pp. 50–56 (in Russian).
9. Smirnov, A.I., Abdrakhmanov, R.F. *Karstoopasnost' territorii Respubliki Bashkortostan* [Karst hazard in the territory of Bashkortostan Republic]. *Vestnik Akademii nauk Respubliki Bashkortostan*, Ufa, 2007, no. 2, pp. 5–11 (in Russian).

KARST IN THE SOUTHERN CISURALS AND ITS INTENSIFICATION UNDER THE TECHNOGENIC IMPACT

R. F. Abdrakhmanov, A. I. Smirnov

Institute of Geology, Ufa Science Centre, Russian Academy of Sciences, ul.K. Marksa 16/2, Ufa, 450077 Russia. E-mail: hydro@ufaras.ru

Karst is a combination of interrelated and interdependent geological processes and phenomena occurring in soluble rocks and overlying strata due to chemical and partially mechanical activities of ground- and surface water. In the context of classical (linear) hydrodynamics that describes the laws of groundwater motion within the zone of hypergenesis, karst is a consequence of forced convection in the anisotropic filtering fissured and cavernous media given chemical potential at the solid-liquid phase boundary. Karst processes result in the development of different hollows in the massifs of soluble rocks with the further transformation of the latter up to complete destruction. On the surface these processes lead to the formation of typical negative landforms spatially and genetically associated with underground karst elements. Karst also controls the special-type accumulations of crack and vein karst water characterized by specific recharge, movement and discharge patterns in interrelation with surface water. Karst activation under the impact of technogenesis is illustrated by the example of the Southern Cisurals as the region of “classic” sulfate and carbonate karst development. Karst encompasses 50 percent of the area here. The upper karst zone under hypergenesis analyzed in this paper was rapidly formed at the most recent stage of geological development. In the Neogenic and Quaternary periods, climatic conditions favourable for karst development existed during the Late Miocene and Early Pliocene, when there were also highly beneficial hydrodynamic conditions due to the pre-Kinelian downcutting of paleo-river channels. At present, karst is actively developing in oil-production regions (operated for more than 70 years), industrially urbanized areas with well-developed petroleum and chemical industries, etc. The assessment and prediction of karst hazard and risk are one of the priorities in engineering geology aimed at preventing emergency and other extraordinary situations caused by karst development. Prediction of karst activity under present-day conditions is primarily possible through karst monitoring. Unfortunately, it has not been properly organized in this region yet.

Keywords: *carbonate karst, sulfate karst, clastic karst, technogenesis, chemical composition of groundwater, karst activation, karst monitoring.*