

Научные сообщения

УДК 551.435.8:551.4.075(470.57)

© 2017 г. Р.Ф. АБДРАХМАНОВ, В.Г. ПОПОВ

СВЯЗЬ КАРСТА С НЕОГЕНОВЫМИ ДОЛИНАМИ СИСТЕМЫ ПАЛЕО-БЕЛОЙ
В ЮЖНОМ ПРЕДУРАЛЬЕ*Институт геологии Уфимского научного центра РАН, Уфа, Россия
e-mail: hydro@ufaras.ru*

Главным фактором, вызвавшим формирование переуглубленной речной сети систем Палео-Волги, Палео-Днепра, Палео-Дона, Палео-Урала и др. палеорек явились тектонические движения земной коры на востоке Русской плиты и Южном Урале в миоцен-плиоценовую эпоху. Они коренным образом трансформировали облик рельефа Южного Предуралья и определили характер и масштабы многих экзогенных процессов. При этом резко усилилась денудационная деятельность подземных вод. В палеодолинах рек Белой, Уфы, Быстрого Таныпа, Демы и др. залегает толща (до 200 м) глинистых (в основании разреза — песчано-галечниковых) осадков позднего миоцена-плиоцена. Они, в зависимости от 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. Помимо комплекса естественноисторических факторов, контролирующих развитие карстового процесса (литология пород, тектоника, гидрогеологические особенности и пр.), его масштабы и характер зависят от хозяйственной деятельности человека. Активизацию карста и суффозии часто вызывает рост городов и освоение территорий. Неогеновые и современные долины содействовали развитию карста в нижнепермских гипсах на территории Уфимской промышленно-урбанизированной агломерации, где зафиксировано 63 карстовых поля. В последние 25 лет техногенный фактор, вызывающий подтопление территории, в 70–80% случаев являлся причиной аварийных и катастрофических ситуаций, связанных с интенсификацией карста. Карстово-суффозионные процессы представляют угрозу эксплуатации Юмагузинской и Павловской ГЭС, созданных на закарстованных карбонатных породах в местах расположения палеодолин Белой и Уфы, несмотря на проведении сложных противифльтрационных мероприятий.

Ключевые слова: неогеновые долины, система Палео-Белой, карстовые процессы, Уфимская агломерация, гидротехнические сооружения.

DOI: 10.7868/S0435428117030051

Введение

Формирование переуглубленной речной сети систем Палео-Волги, Палео-Днепра, Палео-Дона, Палео-Урала и др. палеорек стало уникальным событием в кайнозойской истории Восточно-Европейской равнины. Оно не только коренным образом трансформировало облик рельефа региона, но и определило характер и масштабы многих экзогенных процессов — эрозионных, аккумулятивных, склоновых и др.

Особо важная роль среди них принадлежит денудационной деятельности подземных вод в целом и трещинно-карстовых в частности, которая резко усилилась вследствие мощного дренирующего воздействия палеодолин, глубоко врезаанных преимущественно в пермские породы, слагающих зону гипергенеза.

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 сопровождается 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 — карста и суффозии. К числу факторов, способствующих развитию последних, 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.

Морфология и формирование долин системы Палео-Белой

Первые указания на наличие переуглубленного русла р. Волги (в районе г. Казань) относятся к концу XIX в. [1]. 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 Волге, Каме, Белой и Уфе, 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 — рр. Шешма, Зай, Ик, Сюнь, Быстрый Танып, Дема, Сим, Нугуш и др.

Главным геологическим фактором, вызвавшим переуглубление речной сети, служили произошедшие на границе миоцена и плиоцена восходящие 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), — регионального базиса эрозии, активизировало донную эрозию, в результате которой образовались глубоко врезаанные в подстилающие породы долины рек, ныне погребенные под более молодыми неоген-четвертичными осадками [2].

Основной водной артерией Южного Предуралья в плиоцене была р. Палео-Белая (рис. 1). Она вместе со своими притоками — рр. Палео-Ик, Палео-Дема, Палео-Уфа и др. — создала сильно расчлененный эрозионно-денудационный рельеф, сложенный породами пермского и каменноугольного возрастов. Осадки, выполняющие палеодолины, относятся к кинельскому (Nkn) надгоризонту (верхний миоцен-плиоцен), который разделен на три горизонта: чебеньковский, карламанский и кумурлинский [3]. Мощность чебеньковских отложений обычно до 30 м. Они представлены, в основном, базальными аллювиальными песчано-галечниковыми отложениями, в верхней части — алевритистыми глинами с прослоями песков, что служит показателем подтопления речных долин, стабилизации и поднятия базиса эрозии [4]. В карламанском и кумурлинском горизонтах (до 150 м) преобладают глины с прослоями алевритов и глинистых песков озерно-лиманного происхождения. Общая мощность кинельских отложений в осевой, наиболее глубокой части палеодолины достигает 200 м, а в прибортовых разрезах сокращается до первых десятков метров.

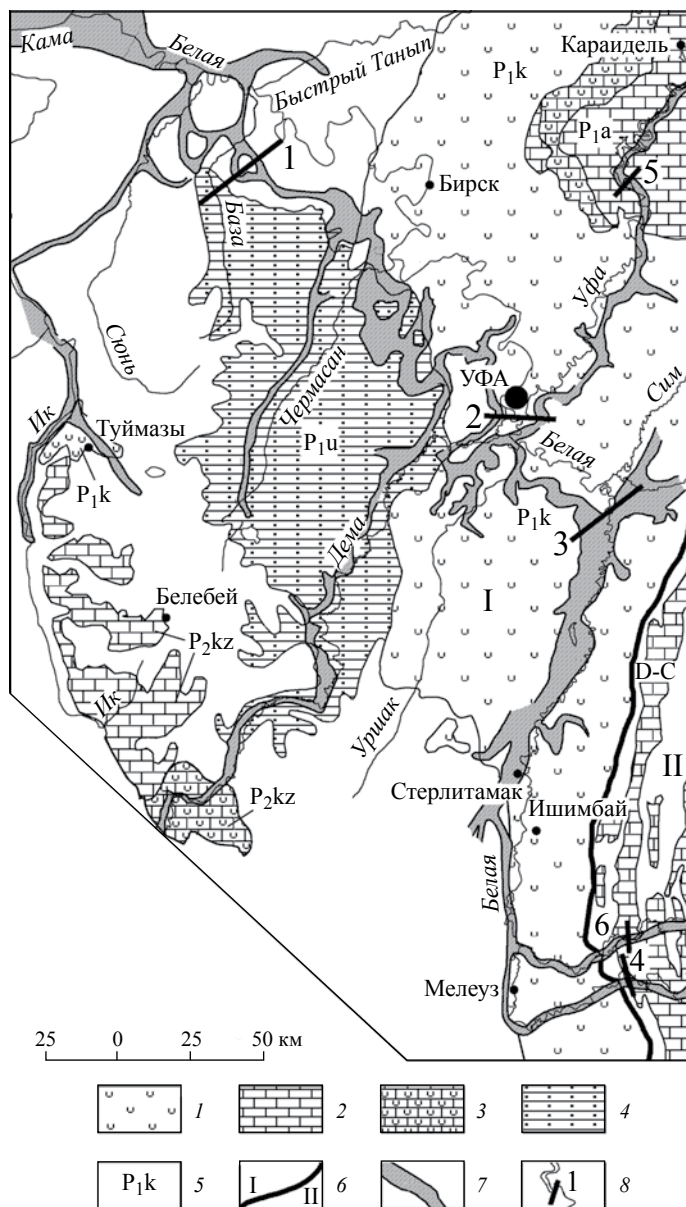


Рис. 1. Схематическая карта долин системы Палео-Белой и типов карста Южного Предуралья
 Типы карста: 1 – сульфатный, 2 – карбонатный, 3 – сульфатно-карбонатный, 4 – кластокарст спорадического развития; 5 – возраст карстуемых пород; 6 – граница карстовых стран (I – Восточно-Европейская, II – Уральская); 7 – контур палеодолины; 8 – разрезы палеодолин (1 – в низовье р. Белая (междуречье База–Белая), 2 – Бельско-Уфимское междуречье, 3 – в среднем течении (устье р. Сим), 4 – в верхнем течении (створ Юмагузинского водохранилища) и створы водохранилищ (5 – Павловское, 6 – Нугушское)

Неотектогенез в Урало-Поволжье – первопричина врезания речных долин в коренные, главным образом палеозойские, осадочные комплексы. Дифференцированные (колебательные и складчатые) движения земной коры обусловили тектономорфность рельефа исследуемой территории. Она заключается в тесной пространственной связи долины Палео-Белой с отрицательными тектоническими структурами

(впадинами, депрессиями, седловинами) разного порядка в палеозойском чехле, так или иначе сопряженными со структурными формами архей-раннепротерозойского фундамента, что является следствием унаследованного тектонического развития региона с древнейших времен.

После выхода плиоценовой палеореки на Предуральскую равнину она протекала в субмеридиональном направлении в области глубокого (до 12 км) погружения осадочного чехла юго-восточной окраины Восточно-Европейской платформы в докембрийский кристаллический субстрат. После поворота русла реки на северо-запад, ее долина приурочена к крупной впадине в архейском фундаменте — Камско-Бельскому понижению, где мощность чехла достигает 7–8 км. Эти отрицательные структуры, vyplненные позднепротерозойскими (рифейскими, вендскими) формациями, в палеозойском структурном этаже отвечают Бельской депрессии Предуральского краевого прогиба и Бирской (отчасти Верхнекамской) впадинам, разделяющим Пермско-Башкирский и Татарский своды.

При рассмотрении конфигурации русла Палео-Белой обращает на себя внимание тесная связь доплиоценового рельефа с тектоникой палеозойских пород: древняя палеодолина приурочена к отрицательным структурам (понижениям, швам и пр.), а водораздельные возвышенности — к положительным тектоническим формам (брахиантклиналям). В большинстве случаев эти структуры хорошо выражены и в современном рельефе, что указывает на активность неотектонических процессов. Примером могут служить высокие (более 100 м) нижепермские (уфимские) останцы, со всех сторон обтекаемые Палео-Белой (см. рис. 1).

Долина Палео-Белой в морфологическом отношении, по геологическому строению и гидрогеологическим условиям может быть разделена на три части: нижнее течение (между долинами Палео-Уфы и Палео-Камы), среднее течение (от долины р. Палео-Уфы до выхода Палео-Белой с гор) и верхнее (горная часть).

В нижнем течении Палео-Белая прослеживается в северо-западном направлении, причем русло ее смещено на 15–25 км к юго-западу от современного русла Белой. Собственно в низовье, на протяжении 40 км до слияния с Палео-Камой Палео-Белая свое русло проложила в неподверженных карстовым процессам терригенных уфимских (P_{1u}) отложениях (рис. 2). Нижележащая толща кунгурских (P_{1k}) гипсов, таким образом, находится вне сферы дренирующего воздействия палеодолины. Гипсы здесь представляют собой водоупор, который играет исключительно важную роль, поскольку разделяет осадочный чехол на две зоны — гипергенеза и катагенеза — с принципиально различными физико-химическими и гидрогеологическими условиями.

Выше по течению, вследствие структурно-тектонических особенностей залегания пермских отложений, врез палеодолины в кунгурские гипсы неуклонно возрастает и уже в районе г. Уфа превышает 100 м. Выполняющие древнюю долину кинельские отложения в нижнем течении имеют максимальную мощность (до 150–170 м) и представлены всеми своими подразделениями. Контур долины палеореки имеет сложные очертания: русло ее сильно меандрирует, ширина долины местами достигает 10–15 км, а в сужениях уменьшается до 2–3 км. Абсолютные отметки днища палеодолины вниз по течению постепенно опускаются от –28 (район г. Уфа) до –85 м (у г. Мензелинск в Татарстане). На фоне плавного погружения русла древней долины, отмечаются отдельные палеокарстовые впадины, где мощность базальных галечников чебенковского горизонта достигает 45–57 м. Крутизна склонов долины изменяется от 5 до 30°, что с учетом ее ширины указывает скорее на корытообразную, нежели каньонообразную (как это нередко считается) форму.

Именно склоны Палео-Белой в ее нижнем течении оказались наиболее подверженными карстовым процессам. Высота карстовых полостей, фиксируемых провалами бурового инструмента в нефтеразведочных скважинах, достигает 2.5–5.0 м. Интенсивное движение трещинно-карстовых вод в местах сочленения кунгурских гипсов с песчано-глинистыми осадками миоцена—плиоцена вызвало выщелачивание

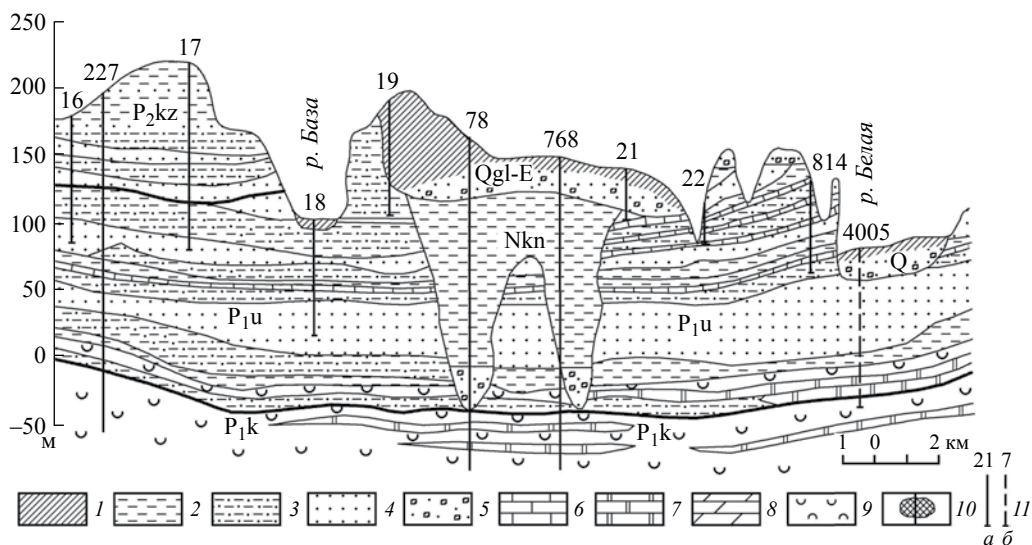


Рис. 2. Долина р. Палео-Белой в низовье (междуречье База–Белая)

1 – суглинки; 2 – глины; 3 – алевролиты; 4 – пески, песчаники; 5 – гравийно-галечные отложения; 6 – известняки; 7 – доломиты; 8 – мергели; 9 – гипсы, ангидриты; 10 – каверны, заполненные дресвяно-щебнистым материалом, вскрытые скважинами (см. рис. 5); 11 – скважины (вверху – номер по первоисточнику, а – на профиле, б – перенесенная на профиль)

каменной соли, залегающей в виде включений, прослоев и линз в карбонатно-сульфатной толще P_{1k} . Соль в полосе 2–5 км вдоль русла палеодолины полностью выщелочена. Все эти явления связаны со значительными напорными градиентами и скоростями движения трещинно-карстовых вод в бортовых частях палеодолины.

В среднем течении долина Палео-Белой вскрывает и дренирует в основном гипсы кунгурского яруса. Река протекала в субмеридиональном направлении вдоль западного борта Бельской впадины Предуральяского прогиба. В отличие от нижнего течения, где древняя плиоценовая и молодая плейстоценовая долины территориально разобщены, здесь они сопряжены друг с другом, вследствие чего четвертичный аллювий с размытом залегает на разных кинельских горизонтах (рис. 3). Абсолютные отметки русла увеличиваются вверх по долине и в районе г. Стерлитамак достигают +40 м. Глубина вреза палеодолины несколько снижается. Уменьшается и общая мощность кинельских осадков (в осевой части – 50–120 м). Однако мощность дренирующего гравийно-галечникового горизонта, залегающего на кунгурских гипсах, не уменьшается, а в ряде случаев даже увеличивается до 55 м. В этой связи следует отметить одно важное обстоятельство, наложившее отпечаток на морфологию погребенных долин, – древний позднемиоценовый-раннеплиоценовый карст.

Известны факты аномально большого локального “переуглубления” в днищах погребенных долин на участках развития растворимых пород. Н.Н. Нелидов [5] приводит сведения о сильной закарстованности карбонатных отложений сакмарского возраста, прорезаемых Палео-Камой на территории Елабужско-Ижевского вала. Там, в глубоких карстовых впадинах, отметки подошвы плиоцена достигают 113 м ниже уровня моря, тогда как на незакарстованных участках они имеют много меньшую величину (–70...–80 м).

Кроме того, для объяснения особенностей строения погребенных речных долин надо иметь в виду характер их развития. Участки долин, развивающиеся антецедентно, в условиях взаимодействия поднятия и соответствующей его темпу эрозии, всегда более узкие, чем те, которые расположены на относительно стабильных, а тем более опускающихся участках. Именно с этим фактором надо связывать расширение

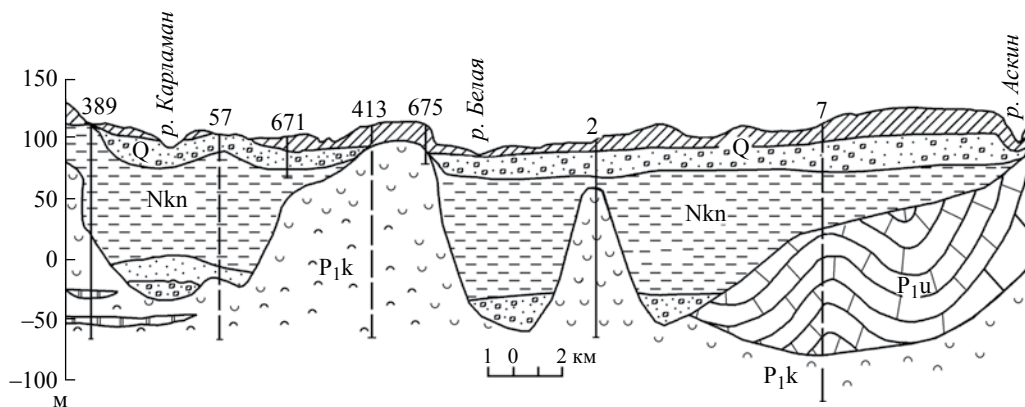


Рис. 3. Долина р. Палео-Белая в среднем течении (устье р. Сим)

Усл. обозначения см. рис. 2

долины Палео-Белой в месте впадения в нее палеорек Сим, Инзер и Зилим, где обнаружена обширная эрозионно-карстовая котловина, выполненная плиоцен-четвертичными осадками (см. рис. 3).

Кроме названных палеорек, в среднем и нижнем течении в Палео-Белую впадали еще несколько притоков, наиболее крупным из них, к тому же заложенным в карстующихся породах, является р. Палео-Уфа. Ее истоки находятся на Уфимском плато с абс. отметками 300–450 м, в тектоническом отношении отвечающему Башкирскому своду. В южной части Уфимского плато Палео-Уфа дренирует карбонатную толщу (200–250 м) нижнепермского (артинского) возраста, а местами экранирует потоки подземных вод. Современная и древняя долины оказывают основное влияние на 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. Уфы) при среднегодовом модуле подземного стока $15.3\text{--}16.2 \text{ дм}^3/\text{с} \times \text{км}^2$ величина карстовой денудации составляет 38–45 мкм/год. Это в три раза выше, чем в северной части плато, что объясняется различиями во внутренней закарстованности пород.

В створе Павловского водохранилища (см. рис. 1) 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 $6\text{--}52 \text{ м}^3/\text{с}$) и другим восходящим источникам, которые возникли в результате подпруживающего влияния палеодолины Уфы [6]. По составу они гидрокарбонатные кальциевые с минерализацией (М) $0.2\text{--}0.3 \text{ г/дм}^3$, очень хорошего питьевого качества. Судя по величине М и концентрации HCO_3^- ($150\text{--}200 \text{ мг/дм}^3$) они еще далеко не насыщены CaCO_3 и MgCO_3 (дефицит насыщения до 50%), т.е. сохранили агрессивность к карбонатным породам. Причина этого – низкие концентрации в водах CO_2 ($20\text{--}30 \text{ мг/дм}^3$), регламентирующего растворимость известняков, короткие пути движения ($n\text{--}10n \text{ км}$) карстовых вод и время нахождения воды в породе ($10n\text{--}100n \text{ сут}$).

Экранирующее влияние неогеновых палеодолин по отношению к трещинно-карстовым водам установлено и в других районах. Так, в нижнем течении

Палео-Белой известен сульфатно-хлоридный кальциево-натриевый минеральный источник “Соленый Ключ” (М 5.1–6.2 г/дм³) с дебитом до 200 л/с, а в долине р. Палео-Танып – группа сульфатных кальциевых минеральных источников (М 2.5 г/дм³) с суммарным дебитом более 300 л/с. В том и другом случаях источники представляют собой мощные грифоны из карстовых воронок. Но здесь они связаны с восходящей разгрузкой трещинно-карстовых вод из кунгурских отложений по бортам палеодолин.

В нижней части верхнего течения р. Палео-Белая протекала в субширотном направлении по глубокому (300–500 м) узкому с обрывистыми склонами каньону, сложенному каменноугольными и более древними породами. Судя по створам Юмагузинского и Нугушского водохранилищ (см. рис. 1), мощность кинельских отложений, вложенных в трещиноватые и закарстованные известняки нижнего-среднего карбона, составляет 55–70 м, из которых 20–30 м приходится на базальный валунно-галечниковый горизонт. При этом антецедентно развивающаяся долина, прорезающая поперек передовые хребты западного склона Южного Урала, сужается до 0.5–0.7 км; дно ее находится на наиболее высоких отметках (+135...+150 м).

Таковы данные о масштабах эрозионного расчленения рельефа Южного Предуралья в раннем плиocene. Оно было значительно более интенсивным, чем сейчас, но неравномерно распределенным по площади. Глубинная эрозия локализовалась в относительно узких, линейно вытянутых и изогнутых участках, разделенных зонами отсутствия или очень слабого развития глубинной эрозии. Последние занимали преобладающие по площади обширные междуречья, сложенные пермскими отложениями. В морфологическом отношении междуречья тогда напоминали столовые возвышенности: они имели плоские вершины и довольно крутые высокие склоны, отделялись друг от друга глубокими долинами. Вершинная поверхность междуречий того времени являлась не чем иным, как миоценовой поверхностью выравнивания.

Влияние палеодолин на развитие карста в г. Уфа

Столица Башкортостана г. Уфа – одна из крупных промышленно-урбанизированных агломераций России. Карст на территории города связан с гипсами кунгурского и загипсованными породами уфимского возраста (рис. 4). Изысканиями последних лет выявлена тесная связь поверхностных карстопроявлений (воронки, провалы) и деформаций зданий, сооружений с погребенными формами древней речной сети. 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 р. Сутолоки достигает 800–950 м. На Бельско-Уфимском 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 выветрелые 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 акчагыльской 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

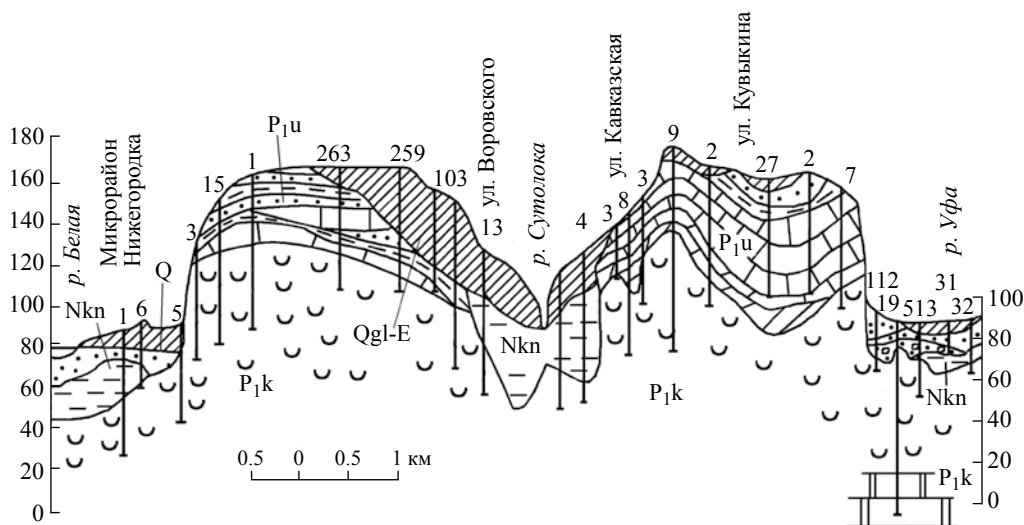


Рис. 4. Бельско-Уфимское междуречье
Усл. обозначения см. рис. 2

дренирующих 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 суффозию.

Вследствие этого образуются карстово-суффозионные оседания со средней скоростью 1–2 мм/год и даже крупные карстовые провалы. В настоящее время такой процесс продолжается. Недочет 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-Уфимском междуречье наблюдается обратное соотношение уровней этажно расположенных горизонтов с глубиной (уменьшение их абс. отметок), что служит 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 движению агрессивных по отношению к гипсоносным породам (дефицит насыщения достигает 1.7–2.1 г/дм³) атмосферных осадков, поверхностных и подземных вод в глубину. На склонах долин, сложенных гипсами, это вызывает интенсивное развитие карста и суффозии.

Все ранее существовавшие поверхностные карстопроявления и вновь образующиеся провалы находятся в тесной взаимосвязи. Она заключается в том, что все современные карстовые провалы образуются вблизи более ранних поверхностных карстовых форм. Чем ближе провалы к ним, тем они случаются чаще, чем дальше — тем реже, причем на расстоянии более 250 м от старых воронок провалы практически не происходят [6].

Молодые и старые карстовые воронки обычно образуют скопления — карстовые поля. В г. Уфа и его окрестностях установлено 63 карстовых поля, в пределах которых плотность воронок от 10 до 100 на 1 км², иногда более. Воронки, увеличиваясь в размерах и сливаясь друг с другом, образуют котловины и овраги эрозионно-карстового происхождения.

Провалы, служащие показателем современной активности карста, наиболее часты на Бельско-Уфимском междуречье. За последние 100 лет здесь зафиксировано 318 карстовых провалов. В среднем происходит три провала в год. Обычно они образуются весной после снеготаяния и осенью в период длительных дождей.

Одни из наиболее существенных техногенных факторов активизации карста – утечки из водонесущих коммуникаций (водопровод, канализация, теплосети), содержащие агрессивные компоненты по отношению к карстующимся породам. Расчеты показали, что доля их в питании подземных вод достигает 25–30, иногда 50% [7]. В результате на таких участках образуются провалы и проседания и, как следствие, происходят деформации трасс, зданий и сооружений, а также загрязнение подземных вод.

За последние 25 лет количество аварийных и катастрофических ситуаций неуклонно увеличивается. Средняя частота проявлений техногенных процессов и связанных с этим аварий составляет 11–17 лет со дня ввода сооружений в эксплуатацию, причем в 1990-е годы наметилась тенденция к уменьшению этого времени и к увеличению количества аварийных объектов. В весенне-летнее время деформации оснований зданий и сооружений по этой причине происходят чаще, чем зимой. Основной их причиной в 70–80% случаев служат техногенные факторы, вызывающие подтопление территории и, как следствие, активизацию развития карстово-суффозионного процесса.

Оценка карстовой опасности при гидротехническом строительстве

В Башкортостане построено несколько крупных (Павловское, Юмагузинское, Нугушское) и свыше 500 средних и малых водохранилищ. Створ плотины Павловского водохранилища находится в пределах Уфимского плато, а Юмагузинского и Нугушского – у выхода рр. Белая и Нугуш из гор. Долины здесь имеют глубокий врез (150–200 м), ящикообразный поперечный профиль с крутыми обрывистыми склонами.

Павловская ГЭС (см. рис. 1) на р. Уфа – первая крупная гидроэлектростанция, созданная на сильно закарстованных нижнепермских карбонатных породах, слагающих склоны и русло палеодолины реки [8]. При строительстве плотины впервые в отечественной практике для предотвращения фильтрации в обход и под плотину были выполнены большие объемы работ по устройству глубоких цементационных завес. Однако, несмотря на это, как показали гидрорежимные наблюдения, обходная фильтрация полностью не ликвидирована. Это подтверждается существованием устойчивой депрессии в уровне трещинно-карстовых вод вдоль левобережного примыкания переуглубленного русла р. Палео-Уфа. Величина обходной фильтрации оценивается в 1.25 м³/с, что составляет 2% от среднегодового расхода р. Уфа по посту “Красный Ключ” [6].

Другое крупное водохранилище – Юмагузинское (см. рис. 1) – также расположено в сильно закарстованном районе. Выбранный вариант створа плотины (рис. 5) в структурно-тектоническом отношении расположен в западной части Западно-Уральской внешней зоны складчатости, разбитой серией тектонических нарушений, в том числе субширотным тектоническим разломом, по которому и произошел прорыв р. Белой в Предуралье.

В геологическом строении участка гидроузла участвуют известняки и доломиты нижнего и среднего карбона. Карстовые каверны и полости в них заполнены дресвяно-щебнистым материалом, нередко с известняково-доломитовой мукой (см. рис. 5). Размеры карстовых полостей обычно не превышают в диаметре 1, реже 2 и очень редко 3 м и более. Абсолютные отметки большинства вскрытых полостей (65%) сосредоточены в интервале 140–220 м, между современным и древним базисами эрозии, 10% – ниже древнего и 25% – выше современного базиса. Карстовые полости размером до 1 м в 65% случаев разбросаны по всему изученному разрезу, а полости крупнее 1 м в 35% случаев сосредоточены в интервале между древним и современным базисами эрозии.

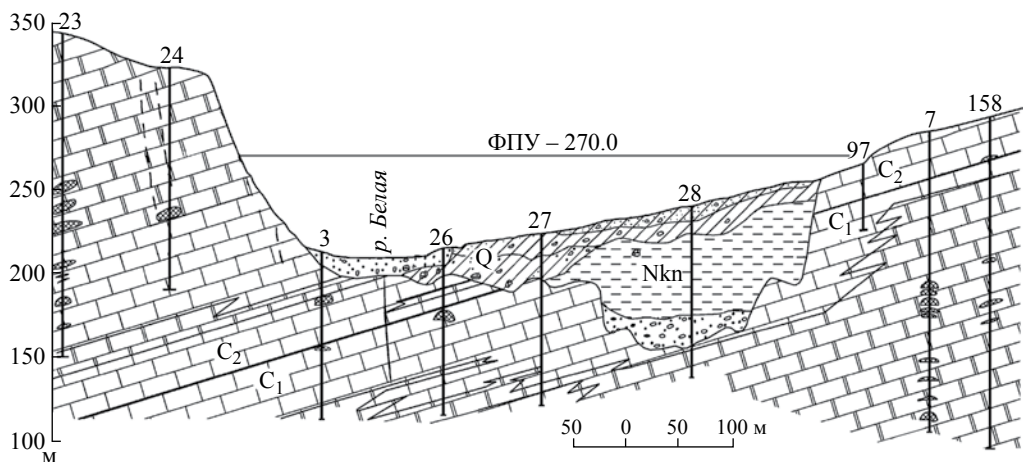


Рис. 5. Долина р. Палео-Белая в верхнем течении (створ Юмагузинского водохранилища)

Усл. обозначения см. рис. 2

Подавляющее большинство карстовых полостей (90%) расположено ниже НПУ водохранилища, поэтому служат каналами обходной фильтрации.

Долина Белой выполнена четвертичными и неогеновыми отложениями. Бурением и геофизическими исследованиями в ее пределах выявлено прижатое к правому борту долины неогеновое палеорусл с глубиной вреза в карбонатные толщи до 80 м. Оно заполнено глинами с включениями обломочных пород миоцена–плиоцена мощностью до 30 м.

Бассейн карстовых вод – единая гидравлическая система с классическим гидродинамическим профилем, то есть полным набором зон: вертикальной, переходной, горизонтальной, сифонной и глубинной циркуляции.

Современная скорость карстового процесса невелика и опасности не представляет. В то же время, реальной угрозой является возможность суффозионного выноса заполнителя карстовых полостей в карбонатных массивах берегового примыкания плотины в связи с изменением гидродинамического режима после заполнения водохранилища. Оно неизбежно сопровождается ростом вертикальных и латеральных градиентов напора и, как следствие, скоростей движения трещинно-карстовых вод. Для предотвращения активизации карстово-суффозионных процессов создана противофильтрационная цементационная завеса в береговых примыканиях плотины и “стена в грунте” – в днище долины на участке палеорусл Белой.

Заключение

Тектонические движения земной коры на востоке Русской плиты и Южном Урале в миоцен-плиоценовую эпоху явились главным фактором, вызвавшим формирование переуглубленной долины р. Волги с разветвленной сетью палеопритоков – рр. Белая, Кама, Уфа и др. Геологическую роль этого важнейшего события трудно переоценить. Оно не только коренным образом трансформировало облик рельефа региона, но и определило характер и масштабы многих экзогенных геологических процессов. Среди них особо важная роль принадлежит карстовым, которые резко активизировались вследствие изменившихся гидрогеодинамических условий в зоне гипергенеза. В Южном Предуралье палеодолины рек Белой, Уфы, Быстрого Таныпа, Демы и др., выполненные толщей (до 200 м) глинистых (в основании разреза – песчано-галечниковых) осадков кинельской свиты, в зависимости от морфологии и гидрогеологических

условий могут выполнять как дренирующую, так и экранирующую роль по отношению к окружающим водоносным комплексам палеозоя.

В первом случае вдоль склонов палеодолин, глубоко врезаемых в известняки и гипсы каменноугольного и нижнепермского возраста, под действием возросших напорных градиентов и скоростей движения вод происходит интенсификация карстовых процессов, ведущих к образованию различных форм в самих карстовых массивах и на поверхности. Во втором случае, наряду с ними, формируются восходящие концентрированные потоки трещинно-карстовых вод, разгружающиеся в виде очень крупных пресных и минеральных источников. К ним в частности принадлежит крупнейший в мире источник “Красный Ключ” (дебит до 52 м³/с), находящийся в южной части Уфимского плато на расстоянии около 80 км от г. Уфы. Он мог бы стать надежным источником питьевого водоснабжения столицы Башкортостана.

Важный аспект карстовой проблематики Предуралья — влияние палеодолин на развитие карста в районах промышленно-урбанизированных территорий. Исследования, выполненные на территории г. Уфа, показали широкое развитие карстовых и карстово-суффозионных процессов в нижнепермских гипсах, так или иначе связанных с древними и современными врезами рек Белой, Уфы и Сутолоки. Они выражены многочисленными карстовыми воронками, провалами и оседаниями в современном рельефе города и его окрестностей, где зафиксировано 63 карстовых поля, в пределах которых плотность воронок от 10 до 100 на 1 км², иногда более. За последние 25 лет количество аварийных и катастрофических ситуаций (деформации трасс, зданий и сооружений) неуклонно увеличивается. Их причиной в 70–80% случаев является техногенный фактор, вызывающий подтопление территории.

Значительные трудности сопряжены со строительством и эксплуатацией гидротехнических сооружений на закарстованных территориях. На Павловской ГЭС, расположенной в месте прохождения палеодолины р. Уфа, они состоят в значительных объемах обходной фильтрации, несмотря на устройство глубоких цементационных завес в карбонатных породах. На Юмагузинской ГЭС, также находящейся в условиях сильной закарстованности карбонатных пород на участке Палео-Белой, угрозу представляют карстово-суффозионные процессы. Для их предотвращения применены довольно сложные противофильтрационные мероприятия в бортах и основании долины [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Штукенберг А.А.* Подземные воды Казани // Приложение к протоколам заседаний О-ва естествоиспытателей при Императорском Казанском ун-те. Казань: Типо-лит. Казанского ун-та, 1892. № 134. С. 3–17.
2. *Рождественский А.П.* Новейшая тектоника и развитие рельефа Южного Приуралья. М.: Наука, 1971. 304 с.
3. *Данукалова Г.А.* Региональная стратиграфическая схема миоцена Предуралья и основные события на территории Южноуральского региона // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2012. Т. 20. № 5. С. 1–18.
4. *Сиднев А.В.* История развития гидрографической сети плиоцена в Предуралье. М.: Наука, 1985. 224 с.
5. *Нелидов Н.Н.* Неотектоника Казанского Закамья // Геоморфология и новейшая тектоника Волго-Уральской области и Южного Урала. Уфа: Изд-во Баш. ФАН СССР, 1960. С. 157–164.
6. *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.
7. *Абдрахманов Р.Ф.* Техногенез в подземной гидросфере Предуралья. Уфа: УНЦ РАН, 1993. 208 с.
8. *Лыкошин А.Г.* Карст и гидротехническое строительство. М.: Стройиздат, 1968. 183 с.

Поступила в редакцию 10.05.2016

Принята к печати 14.03.2017

RELATIONS BETWEEN KARST AND THE NEOGENE PALEO-BELAYA VALLEY NETWORK, SOUTHERN CIS-URALS REGION

R.F. ABDRAKHMANOV, V.G. POPOV

Institute of Geology Ufa Science Centre RAS, Ufa, Russia
e-mail: hydro@ufaras.ru

Summary

Miocene-Pliocene tectonic movements transformed considerably the landscape of South Urals and drove spatial patterns and intensity of Earth surface processes. Deepening of river valleys in Paleo-Volga and Paleo-Ural drainage systems facilitated ground water action. Geological section in paleo-valleys of Belaya, Ufa, Bystriy Tanysh, Dioma and other rivers includes up to 200 m thick Late Miocene – Pliocene clayey unit that may favor both drainage and screening of aquifers depending on local hydrogeological conditions. In the former case, karst processes are intensified due to the increased pressure gradients and ground water velocities along the sides of paleovalleys that are composed of Carboniferous and Lower Permian gypsum and limestones. In case of shielding, rising flows of highly mineralized water are discharged in the form of large karst springs (“Krasniy Klyuch”, and others.). Along with natural control factors (lithology, tectonics, hydrogeology, etc.), present-day karstic processes development are controlled by economic activity. Karst and suffusion (underground erosion) are often activated by growth of cities and development of new lands. Neogene and modern valleys promote karst development in Lower Permian gypsums in the Ufa agglomeration where 63 karstic fieds were found. In the last 25 years, 70–80% of hazardous cases related to karst intensification were induced by technogenic waterlogging. Karstic and suffusion processes threaten the exploitation of Yumaguzinskaya and – Pavlovskaya Hydropower stations that were constructed on karst prone carbonate rocks at the Belaya and Ufa paleovalleys.

Keywords: Neogene valley system Paleo-Belaya, karst processes, Ufa agglomeration, waterworks.

REFERENCES

1. Shtukenberg A.A. Kazan subsoil water, in *Prilozhenie k protokolu Kazanskogo obshchestva estestvoispytatelej* (Annex to the Protocol of the Kazan Society of Naturalists), 1892–1893. No. 134. P. 3–17. (in Russ.)
2. Rozhdestvenskiy A.P. Noveyshaya tektonika i razvitie rel'efa Yuzhnogo Priural'ya (Recent tectonics and the landform development in the South CisUral Region). Moscow: Nauka (Publ.), 1971. 304 p. (in Russ.)
3. Danukalova G.A. The regional stratigraphic scheme Miocene Urals and the main events on the territory of South Ural region. *Stratigr. Geol. Korrel.* 2012. Vol. 20. No. 5. P. 1–18. (in Russ.)
4. Sidnev A.V. Istoriya razvitiya gidrograficheskoy seti pliocena v Predural'e (The history of the development of the hydrographic network of the Pliocene in the Urals). Moscow: Nauka (Publ.), 1985. 224 p. (in Russ.)
5. Nelidov N.N. Neotectonics of Kazan Zakamye, in *Geomorfologiya i novejshaya tektonika Volgo-Ural'skoj oblasti i Juzhnogo Urala* (Geomorphology and latest tectonics of the Volga-Ural region and the South Urals). Ufa: Bash. branch of Academy of Sciences of USSR (Publ.), 1960. P. 157–164. (in Russ.)
6. Abdrakhmanov R.F., Martin V.I., Popov V.G., Rozhdestvenskii A.P., Smirnov A.I., and Travkin A.I. Karst Bashkortostana (Karst in Bashkortostan). Ufa: Informreklama (Publ.), 2002. 383 p. (in Russ.)
7. Abdrakhmanov R.F. Tehnogenez v podzemnoj gidrosfere Predural'ja (Technogenesis in subsurface hydrosphere of the Urals) Ufa: USC RAS (Publ.), 1993. 208 p. (in Russ.)
8. Lykoshin A.G. Karst i gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo (Karst and hydroengineering). Moscow: Stroizdat (Publ.), 1968. 183 p. (in Russ.)

Received 10.05.2016

Accepted 14.03.2017