

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ КАРСТА НА ТЕРРИТОРИИ БАШКОРТОСТАНА И ЕГО ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ПРАКТИКИ

### © Р.Ф. Абдрахманов,

доктор геолого-минералогических наук,  
заведующий лабораторией,  
Институт геологии,  
Уфимский научный центр РАН,  
ул. К. Маркса, 16/2,  
450077, г. Уфа, Российская Федерация,  
эл. почта: hydro@ufaras.ru

### © В.Г. Попов,

доктор геолого-минералогических наук,  
ведущий научный сотрудник,  
Институт геологии,  
Уфимский научный центр РАН,  
ул. К. Маркса, 16/2,  
450077, г. Уфа, Российская Федерация,  
эл. почта: hydro@ufaras.ru

### © А.И. Смирнов,

кандидат геолого-минералогических наук,  
старший научный сотрудник,  
Институт геологии,  
Уфимский научный центр РАН,  
ул. К. Маркса, 16/2,  
450077, г. Уфа, Российская Федерация,  
эл. почта: hydro@ufaras.ru

Среди опасных геологических процессов по интенсивности распространения, неожиданности возникновения его проявлений и воздействию их на социально-экономические объекты и инженерные сооружения особое значение имеет карст. В настоящее время карст активно развивается в наиболее освоенных в хозяйственном отношении районах региона. В пределах республики карстующиеся породы распространены на около 50% территории, почти 30% площади поражено поверхностными и подземными карстопроявлениями, около 40% городского и не менее 20% сельского населения проживает в районах развития карста. Ежегодно здесь фиксируется образование десятков новых провалов, один раз в 5–6 лет возникают аномально крупные провалы диаметром 15–40 и глубиной более 20 м. Карстовые провалы провоцируют деформации жилых и административных зданий, вызывают аварии на инженерных сооружениях. Только в г. Уфе за последние 50 лет зафиксировано более 25 случаев деформации зданий. Наряду с отрицательными проблемами, часто карст играет важное народнохозяйственное значение. Главными полезными ископаемыми, связанными с карстогенными коллекторами, являются нефть, газ, уголь, хозяйственно-питьевые, минеральные лечебные и промышленные подземные воды.

Ключевые слова: карбонатный карст, сульфатный карст, кластокарст, техногенез, химический состав подземных вод, активизация карста, карстовая опасность, палеодолины, полезные ископаемые

R.F. Abdrakhmanov<sup>1</sup>, V.G. Popov<sup>2</sup>, A.I. Smirnov<sup>3</sup>

## KARST DISTRIBUTION IN BASHKORTOSTAN AND ITS IMPLICATIONS FOR PRACTICE

<sup>1,2,3</sup> Institute of Geology,  
Ufa Scientific Centre,  
Russian Academy of Sciences,  
16/2, ulitsa K. Marksa,  
450077, Ufa, Russian Federation,  
e-mail: hydro@ufaras.ru

Karst is of particular importance among dangerous geological processes due to the intensity of its propagation, sudden manifestations and the impact on socio-economic facilities and engineering structures. Nowadays karst is actively developing in the most economically advanced areas of the Ural Region. Within the Republic of Bashkortostan karst-affected rocks occupy almost 50% of the land, surface and underground karst manifestations are found in about 30% of the area, and approximately 40% of the urban and at least 20% of the rural population lives in the areas of karst development. Dozens of newly formed karst sinkholes are registered every year. Abnormally large sinkholes 15 to 40 m in diameter and over 20 m deep occur every five or six years. Karst failures produce deformations of residential and office buildings and cause accidents in engineering structures. Over the past five decades, more than 25 cases of deformations of buildings have been registered only in the city of Ufa. Along with its negative impact, karst often plays a significant economic role. Major mineral resources associated with karst reservoirs include oil, gas, coal, potable, medicinal and industrial groundwater.

Key words: carbonate karst, sulphate karst, clastic karst, technogenesis, groundwater chemical composition, karst activation, karst hazard, paleovalleys, mineral resources

Башкортостан – классический регион развития сульфатного, карбонатного и сульфатно-карбонатного карста (рис. 1). Здесь достаточно широко представлен также кластокарст, связанный с гипсоносными глинами, алевролитами, песчаниками уфимского возраста ( $P_1u$ ). В пределах исследуемой территории выделяется карстовая страна Восточно-Европейской равнины с равнинным карстом в пермских образованиях: IA – в горизонтально- и пологозалегающих породах, IB – равнинным и предгорным карстом в пологозалегающих и слабо дислоцированных породах и Уральская карстовая страна: IIA – с горным карстом в сильнодислоцированных средне- и верхнепалеозойских (S+D, D+C) образованиях Южного Урала, IIB – равнинным карстом в складчато-глибовых каменноугольных (C) отложениях Южного Зауралья.

Выполненная оценка поверхностной карстованности территории Башкортостана показала, что Предуралье, где развит преимущественно сульфатный карст, в 2–10 раз больше поражено поверхностными карстопроявлениями, чем Южный Урал, где доминирует карбонатный карст. Максимальная пораженность карстопроявлениями наблюдается на участках выхода на поверхность массивных и толстослоистых гипсов кунгурского возраста, в пределах которых она достигает 0,57 при плотности 400 и даже 1100 карстовых форм на 1 км<sup>2</sup>. На участках развития средне- и тонкослоистых гипсов

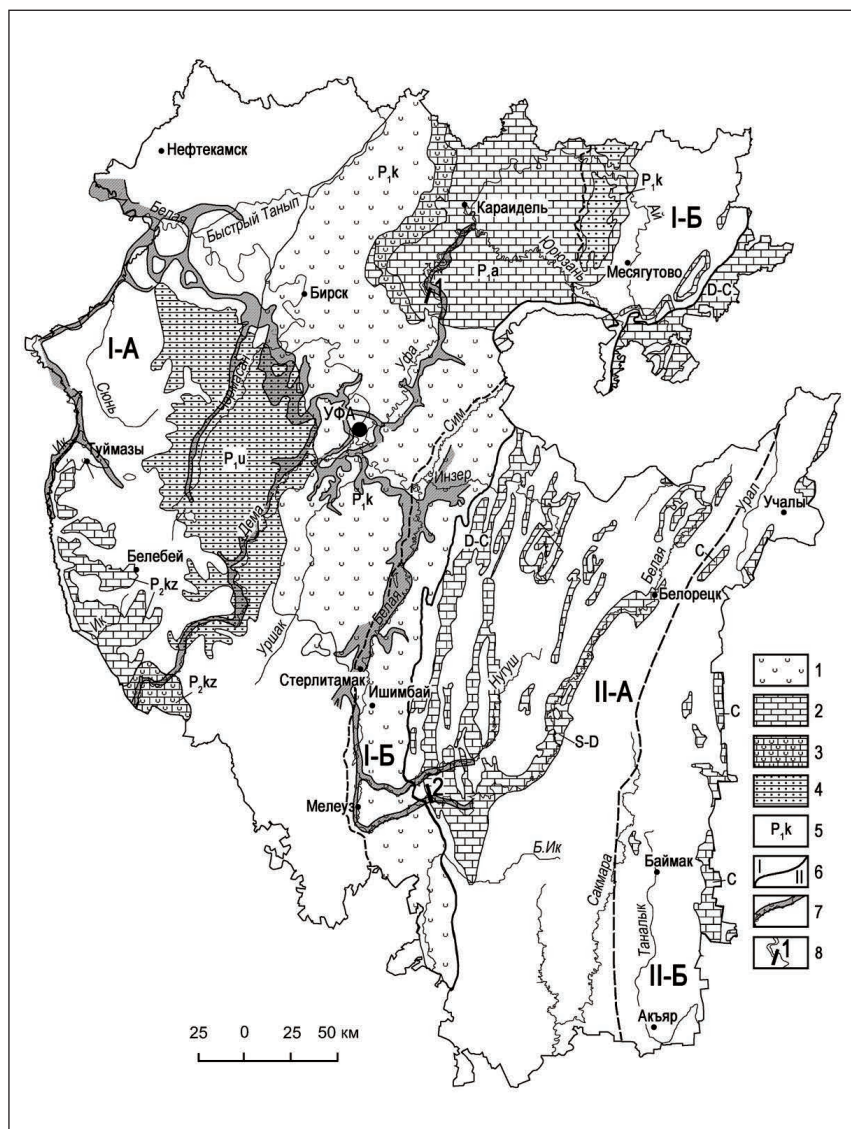


Рис. 1. Распространение карста на территории Башкортостана: 1–4 – типы карста (1 – сульфатный, 2 – карбонатный; 3 – сульфатно-карбонатный; 4 – кластокарст спорадического развития); 5 – возраст карстуемых пород; 6 – граница карстовых стран (I – Восточно-Европейская, II – Уральская); 7 – контур палеодолин; 8 – геолого-гидрогеологические разрезы створов плотин (1 – Павловская, 2 – Юмагузинская)

и в условиях перекрытия их маломощным элювиально-делювиальным чехлом пораженность обычно колеблется в пределах 0,1–0,3, а плотность воронок составляет 30–50 на 1 км<sup>2</sup>.

Пораженность карстом карбонатных пород на участках выхода их на поверхность минимальная и чаще всего не превышают 0,03 при плотности воронок 3–5 на 1 км<sup>2</sup>. Плотность поверхностных карстопроявлений в условиях покрытого карста обратно пропорциональна мощности перекрывающих пород.

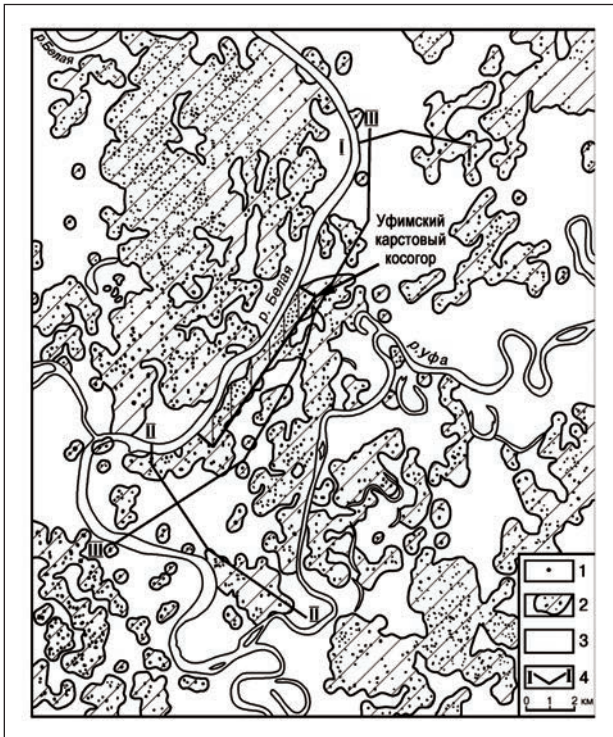


Рис. 2. Карта закарстованности территории г. Уфы [3]: 1 – карстовые воронки и провалы (территории неустойчивые и очень неустойчивые для строительства); 2 – территории вокруг воронок (недостаточно устойчивые и несколько пониженной устойчивости); 3 – территории за пределами карстовых полей (относительно устойчивые); 4 – линия гидрогеологического разреза

Распространение карста на территории Башкортостана, его формирование, активность и прочие вопросы достаточно детально освещены в наших публикациях [1–5 и др.]. В данной работе мы рассматриваем некоторые аспекты практического значения карста при промышленном, гражданском и гидротехническом строительстве, играющем негативную роль, а также кратко карстогенные полезные ископаемые, имеющие важное народнохозяйственное значение.

**Оценка карстовой опасности при промышленном и гражданском строительстве.** Карст на территории г. Уфы и в ее окрестностях связан с кунгурскими гипсами и гипсоносными породами соликамского и шешминского горизонтов Уфимского яруса (рис. 2; 3).

Здесь развиты три класса карста: сульфатный, карбонатный и сульфатно-карбонатный. По степени защищенности сверху некарстующимися породами преобладают два подкласса – перекрытый (камский) в пределах долин Белой, Уфы и закрытый (русский) с участками голого на их междуречьях. Структурно-тектоническое положение кровли карстующихся пород является одним

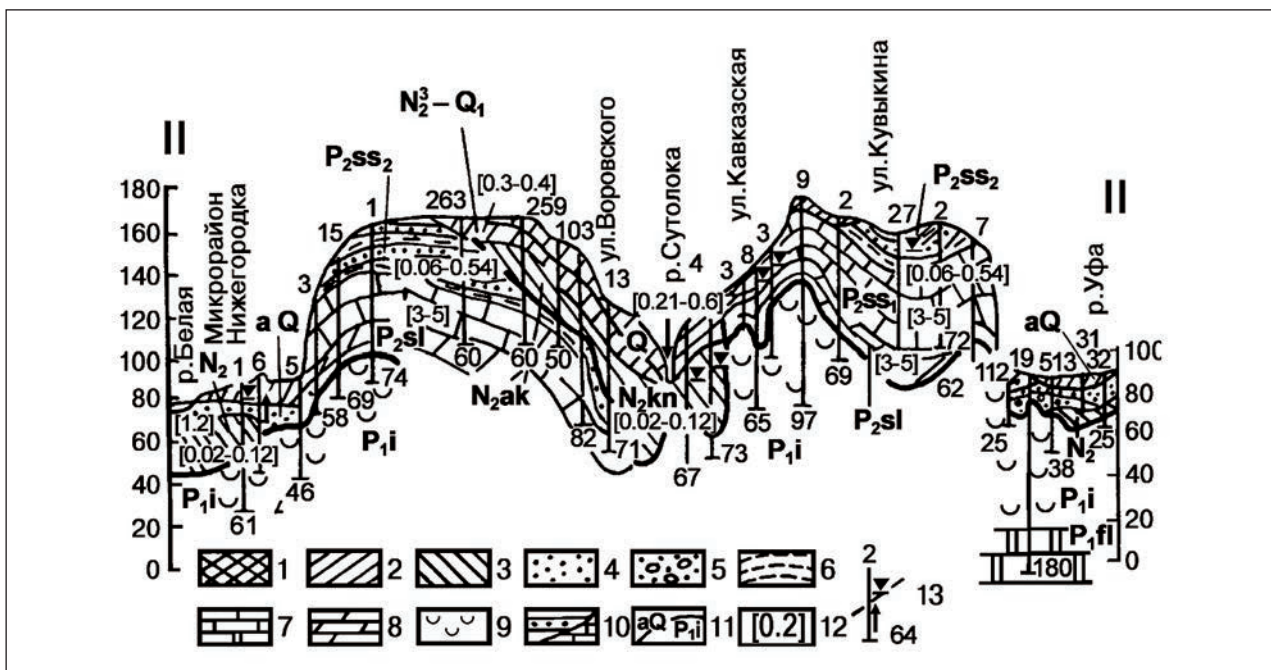


Рис. 3. Гидрогеологический разрез по линии II-II:

1–9 – водоносные породы (1 – насыпной грунт; 2 – суглинки; 3 – глины; 4 – пески; песчаники; 5 – песчано-галечниковые отложения; 6 – глины аргиллитоподобные; 7 – известняки, доломиты; 8 – мергели; 9 – гипсы); 10 – литологическая граница; 11 – гидростратиграфическая граница; 12 – коэффициент фильтрации пород (м/сут); 13 – скважина: наверху – номер по первоисточнику, внизу – глубина скважины, справа – штрихами показан уровень грунтовых вод, стрелка соответствует напору вод

из основных факторов, определяющих неравномерное развитие карста на междуречьях. Установлено, что современный рельеф в пределах междуречий во многом был предопределен рельефом кровли гипсов, сформированных в неогеновое время.

Изысканиями последних лет выявлена тесная связь поверхностных карстопроявлений (воронки, провалы) и деформаций зданий, сооружений с погребенными формами палеогидросети (см. рис. 1; 3). Как правило, вдоль бортов древней гидросети, заполненной в настоящее время неогеново-четвертичными глинисто-суглинистыми отложениями, встречаются погребенные карстово-суффозионные формы, а также провалы и оседания в современном рельефе. В пределах территории г. Уфы древняя эрозионная сеть была широко развита. Данные глубокого бурения и геофизические исследования позволяют проследить контуры переуглубленных (т.е. наиболее глубоких) палеодолин и палеорусел в современных долинах рек Белой, Уфы, Сутолоки. Ширина палеодолины в пределах современной долины р. Сутолоки достигает 800–950 м. На Уфа-Бельском междуречье отмечены древние карстово-эрозионные котловины диаметром до 750–800 м, выполненные глинами неоген-четвертичного возраста.

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 акчагыльской ингрессии моря), дренажирующая 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 дренажирующих систем Белой и Уфы. Естественное увеличение напорных градиентов фильтрации (см. рис. 3) вдоль та-

ких контактов вызывает перемещение тонкодисперсного материала в уже существующие или возникающие карстовые каверны и полости, то есть суффозию. Следствием этого является образование карстово-суффозионных оседаний со средней скоростью 1–2 мм в год и даже грандиозных карстовых провалов [2; 6].

В настоящее время такой процесс продолжается, и его недоучет приводит к тому, что многие здания и сооружения в г. Уфе оказались построенными в прибортовых частях палеодолин (палеорусел) и других древних эрозионных врезов. Кроме естественных карстовых форм (воронки, котловины, пещеры и пр.), в пределах южной части «Уфимского полуострова» имеются многочисленные заброшенные открытые (карьеры) и подземные (штольни) горные выработки, где велась добыча гипса. Суммарная протяженность подземных выработок с входами в основании Пугачевской горы (правый берег р. Уфы) достигает нескольких километров.

Активному развитию карста на рассматриваемой территории способствует и гидрогеодинамическая обстановка. На Бельско-Уфимском междуречье наблюдается обратное соотношение уровней этажнорасположенных горизонтов с глубиной (уменьшение их абсолютных отметок), что является необходимым условием возникновения нисходящих межпластовых перетоков. Градиент фильтрации здесь в основном имеет положительную ( $J > 0$ ) величину (за исключением долины р. Шугуровки). Такие условия, наряду с интенсивной трещиноватостью пород, особенно на склонах долин, способствуют переводу агрессивных по отношению к гипсоносным породам (дефицит насыщения достигает 1 740–2 049 мг/л) атмосферных осадков, поверхностных и подземных вод в глубину. На склонах долин, сложенных гипсами, это вызывает интенсивное развитие карста и суффозии.

Все существующие поверхностные карстопроявления и вновь образующиеся провалы находятся в определенной зависимости. Установлено, что все современные карстовые провалы образуются вблизи существую-

щих поверхностных карстопоявлений. Чем ближе провалы к воронкам, тем они случаются чаще, чем дальше — тем реже, а на расстоянии более 250 м от воронок практически не наблюдаются.

Карстовые воронки обычно образуют скопления — карстовые поля. В г. Уфе и окрестностях установлено 63 карстовых поля, в пределах которых плотность воронок от 10–20 до 100 на 1 км<sup>2</sup> и редко более. Воронки, увеличиваясь в размере и сливаясь друг с другом, образуют котловины и овраги эрозионно-карстового происхождения.

Провалы, являющиеся показателем современной активности карста, наиболее часто происходят на Бельско-Уфимском междуречье. В общей сложности примерно за 100 лет здесь зафиксировано 318 карстовых провалов, т.е. в среднем 3 провала в год. Обычно они образуются весной после снеготаяния и осенью в период длительных дождей.

Классическим объектом изучения условий развития карста стал Уфимский «карстовый косогор» (см. рис. 2). На «косогоре» сосредоточено около 300 карстовых форм (воронок, провалов, поноров, слепых оврагов). Плотность воронок составляет в среднем 36 на км<sup>2</sup>, 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 форм. Из 26 карстовых провалов, образовавшихся в период с 1976 по 1988 год, 14 (54%) приурочено 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. Частота провалов 0,33 случая в год на 1 км<sup>2</sup> [3].

Многолетними исследованиями на территории «большой» Уфы 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) в присклоновых условиях и на междуречье. Наибольшие диаметры провалов характер-

ны для долинных условий — 6,0±0,9 м. На склонах размеры провалов колеблются от 0,5 до 8,2 м, средние значения в нижней части склона — 3,4±0,2 м, в верхней части — несколько меньше — 2,3±0,1 м (в среднем 2,8±0,4 м), что обусловлено ведущей ролью в верхней части склонов карбонатного карста. В присклоновых условиях расчетный диаметр провалов — 6,1±0,9 м.

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. В конечном счете все это часто вызывает активизацию опасных геологических процессов, и в особенности — карста и суффозии. К числу факторов, способствующих развитию карстово-суффозионных процессов относятся: 1) нарушение водоупорных свойств покровных отложений; 2) возникновение техногенных источников формирования подземных вод (различного рода утечки из водонесущих коммуникаций); 3) механическое воздействие производственно-технологических процессов (забивка свай, вибрационные нагрузки от механизмов и др.); 4) загрязнение атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод агрессивными выбросами промышленных предприятий.

Активизации карста способствуют многочисленные заброшенные открытые (карьеры) и подземные (штольни) выработки, где велась добыча гипса для получения алебаstra. Кроме того, сохранились очаги открытой и подземной кустарной добычи известняков во многих районах города.

Одним из наиболее существенных факторов активизации карста являются утечки из водонесущих коммуникаций (водопровод, канализация, теплосети), содержащих агрессивные компоненты по отношению к карстующимся породам. Расчеты показывают, что доля этих утечек в питании подзем-

ных вод достигает 25–30, иногда до 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 90-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 являются техногенные факторы, вызывающие подтопление территории и, как следствие, активизацию развития карстово-суффозионного процесса.

Надежность строительства зданий и сооружений на закарстованных территориях обеспечивается более глубоким изучением карстово-суффозионного процесса, использованием качественно новых и современных методов решения задач во время изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации. Это позволяет заблаговременно учесть возможность проявления техногенного карста, исключить его отрицательные последствия, а в тех случаях, когда он все же приводит к деформациям зданий и сооружений, быстро и эффективно преодолеть аварийные ситуации.

**Оценка карстовой опасности при гидротехническом строительстве.** В Башкортостане построено несколько крупных (Павловское, Юмагузинское, Нугушское) и свыше 500 средних и малых водохранилищ. Павловская ГЭС (см. рис. 1) на р. Уфе – первая круп-

ная гидроэлектростанция, построенная на сильнозакарстованных породах [8]. При строительстве этой плотины впервые в отечественной практике были выполнены большие работы по устройству глубоких противофильтрационных цементационных завес в сильнотрещиноватых и закарстованных породах (рис. 4). Изыскания под данный проект проводились в 1940–1944, 1949–1950 гг. московским отделением проектно-изыскательского треста «Гидроэнергопроект». В 1950 г. началось строительство гидроузла, в ходе которого продолжались исследования, необходимые для составления рабочих чертежей. Водохранилище вступило в эксплуатацию в 1960 г. Полный объем водохранилища составляет 1,4 млрд м<sup>3</sup>.

Другое крупное водохранилище, построенное в условиях сильной закарстованности – Юмагузинское (см. рис. 1) на р. Белой. Оно характеризуется следующими параметрами. Высота плотины 65 м, напор на сооружении (максимальный) 60 м, объем водохранилища 0,9 млрд м<sup>3</sup> (рис. 5).

В геоморфологическом отношении створ плотины Павловского водохранили-

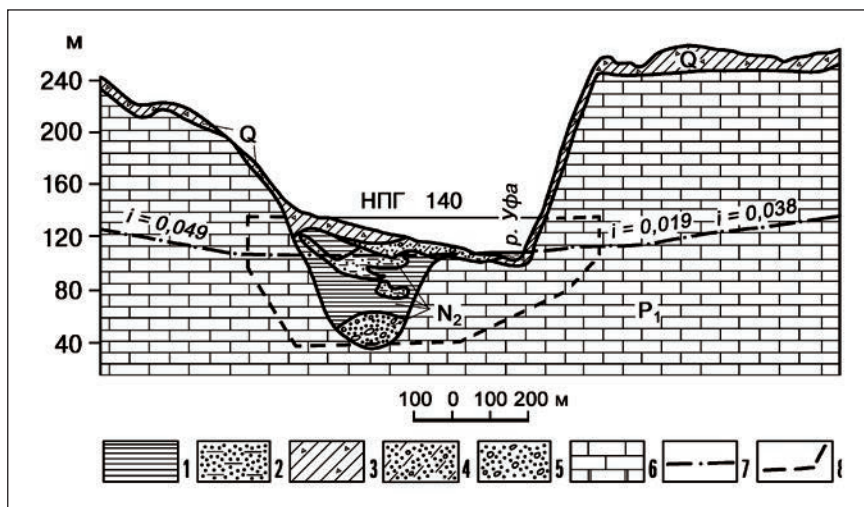


Рис. 4. Геолого-гидрогеологический разрез по створу Павловской плотины [8]:

1–6 – водоносные породы (1 – глины, 2 – пески глинистые; 3 – суглинки со щебнем; 4 – песчано-гравийные отложения с суглинистым заполнителем; 5 – гравийно-галечниковые отложения; 6 – известняки и доломиты); 7 – уровень грунтовых вод и его уклон; 8 – контур цементационной завесы

ша находится в пределах Уфимского плато, а Юмагузинского – у выхода р. Белой из гор. Долины имеют глубокий врез (150–200 м),

ящикообразный поперечный профиль с крутыми обрывистыми склонами.

Выбранный вариант створа плотины Юмагузинского водохранилища, на котором остановимся подробнее, находится в сложных инженерно-геологических условиях. В структурно-тектоническом отношении он расположен на западном краю Западно-Уральской внешней зоны складчатости, разбитой серией тектонических нарушений, в т.ч. субширотным тектоническим раз-

лым толщам нижнего и среднего карбона, является единой гидравлической системой с классическим гидродинамическим профилем, т.е. полным набором зон (по Д.С. Соколову) циркуляции (вертикальной, переходной, горизонтальной, сифонной и глубинной).

Карстовые воды безнапорные за исключением палеорусл р. Белой, где величина напора достигает 60 м. Поток карстовых вод направлен в сторону р. Белой с гидравлическим уклоном 0,0958–0,0187 от левого борта и 0,0671–0,0196 – от правого.

Карбонатный массив в левобережном примыкании плотины (ниже древнего базиса дренирования – абсолютная отметка 140 м), т.е. в зоне сифонной циркуляции – слабоводопроницаемый. Выше, между древним и современным базисом дренирования, в зоне горизонтальной циркуляции – водопроницаемый. На уровне современного базиса – сильноводопроницаемый (>1 л/мин), а в зоне вертикального движения достигает 1,04–3,13 л/мин. В правобережном примыкании плотины карбонатный массив в зоне горизонтальной и переменной циркуляции характеризуется в основном как слабоводопроницаемый. В пределах зоны вертикальной циркуляции преобладают интервалы водопроницаемые с отдельными массивами слабо- и даже практически непроницаемых карбонатных пород.

В пределах днища долины карбонатный массив имеет сравнительно невысокие значения коэффициентов фильтрации от 1 до 10 м/сут, редко до 100 м/сут. Последние характерны для зоны тектонического нарушения. Размеры обнаруженных бурением и подтвержденных геофизическими исследованиями карстовых полостей в основном не превышают в диаметре 1, реже 2 м и очень редко 3 м и более. Причем в большинстве своем они заполнены остаточными продуктами выщелачивания и обрушения сво-

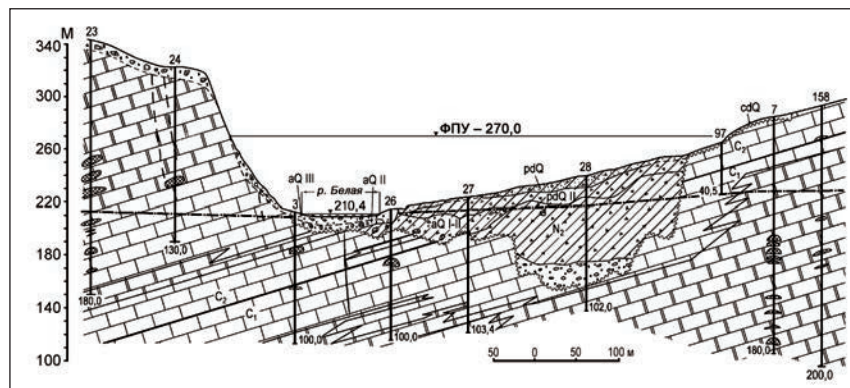


Рис. 5. Геолого-гидрогеологический разрез по оси плотины Юмагузинского водохранилища [1]  
Условные обозначения см. на рисунке 4

ломом, по которому и произошел прорыв р. Белой в Предуралье [1; 9].

В геологическом строении участка гидроузла участвуют карбонатные толщи нижнего и среднего карбона, представленные известняками, доломитами, доломитизированными известняками. Вся карбонатная толща закарстована. Каверны и полости заполнены дресвяно-щебенистым суглинистым материалом, нередко с известняково-доломитовой мукой (см. рис. 3).

Долина р. Белой выполнена четвертичными и неогеновыми отложениями. Бурением и геофизическими исследованиями в ее пределах выявлено домиоценовое палеорусло с глубиной вреза в карбонатные толщи до 80 м, прижатое к правому борту долины. Палеорусло заполнено миоценовыми и верхнеплиоценовыми глинистыми отложениями мощностью до 30 м с включениями дресвы, щебня, глыб и галек и прослоями валунно-галечниковых грунтов. Бассейн карстовых вод, приуроченный к карбонат-

дов полостей (щебень, дресва, карбонатная мука).

Построенные графики зависимости размеров вскрытых карстовых полостей и их положения в разрезе плотины позволили выявить следующие закономерности [1;10]: 1) большинство вскрытых полостей (65%) сосредоточено в интервалах 140–220 м (абсолютные отметки), т.е. между современным и древним базисами коррозии, и только 10 % ниже древнего и 25 % – выше современного; 2) 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 коррозии; 3) подавляющее большинство карстовых полостей (90 %) расположено ниже НПУ водохранилища, поэтому являются каналами обходной фильтрации.

Современная скорость карбонатного карста 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. Во избежание этого создана противофильтрационная цементационная завеса в береговых примыканиях плотины и «стена в грунте» – в днище долины в зоне палеоруслa р. Белой. Изыскания проводились в 1998–2004 гг., временная эксплуатация водохранилища началась в 2004 г., в эксплуатацию сдано в 2007 г.

**Карстогенные полезные ископаемые.** Из связанных с карстовыми процессами полезными ископаемыми в Башкортостане наиболее важны в народнохозяйственном отношении скопления углеводородов (нефть, газ, уголь), пресных и минеральных подземных вод [1].

В палеозое Башкирского Предуралья выделяются три карбонатных нефтегазоносных комплекса – верхнекаменноугольно-нижнепермский, ниже-среднекаменноугольный и верхнедевон-турнейский, залегающие на глубинах от 300–500 до 2 000 м и более. В них заключено около 25% запасов углеводородного сырья региона.

Залежи каменного угля связаны с эрозионно-карстовыми впадинами в известняках турне нижнего карбона, выполненными терригенными отложениями визейского яруса. Прогнозные запасы углей, залегающих в виде отдельных пластов (7,6–28,0 м) на глубине 1 250–1 450 м, оцениваются в 1,89 млрд т. Буроугольные месторождения олигоцен-миоценового возраста приурочены к карстовым депрессиям в кунгурских солях на юге Бельской впадины. Общие запасы Южно-Уральского буроугольного бассейна около 2 млрд т.

Минеральные воды (МВ), связанные с палео- и современными карстовыми процессами, являются ценнейшими полезными ископаемыми. Регионально развиты они в осадочном чехле Предуралья, где выделяется 4 группы лечебных вод: 1) без «специфических» компонентов и свойств, 2) сероводородные, 3) бромистые и йодистые, 4) радоновые.

Первые залегают в зоне гипергенеза (< 500 м) и приурочены к загипсованным карбонатным породам уфимского возраста и кунгурским гипсам. В них обнаружены лечебно-питьевые  $\text{SO}_4\text{-Ca}$  с М 1–3 г/л Краинского и Звенигородского типов,  $\text{SO}_4\text{-Cl-Ca-Na}$  с М 3–8 г/л Ижевского,  $\text{Cl-Na}$  с М 2–12 г/л Миргородского, Минского типов и  $\text{SO}_4\text{-Na}$  с М 2–20 г/л МВ Будапештского и Иаскараенского типов (Венгрия).

Основными коллекторами бальнеологических сероводородных (сульфидных) МВ являются карбонатные нижнепермские (асельско-артинские) отложения. Они вмещают  $\text{SO}_4\text{-Mg-Ca}$  (М до 3 г/л,  $\text{H}_2\text{S}$  до 0,1 г/л) Кемериского и Сергиевского типов,  $\text{SO}_4\text{-Cl-Ca-Na}$  (М 5–30 г/л,  $\text{H}_2\text{S}$  до 0,3 г/л) Ключевского и Мацестинского типов и  $\text{Cl-Na}$  (М до 300 г/л,  $\text{H}_2\text{S}$  до 1 г/л и выше) Усть-Качкинского, Ишимбайского и Красноусольского типов.

Йодо-бромные азотно-метановые рассолы (М 250–330 г/л, I – до 15, Br – до 2 040 мг/л), бальнеологического и лечебно-питьевого (в разбавленном состоянии) назначения, залегают в зоне катагенеза на глубинах > 1 200–1 500 м в палеокарстовых коллекторах франа и турне. Эти воды представляют интерес и как гидроминеральное промышленное сырье.



Месторождения радоновых вод в Предуралье имеют очаговый характер. Радиоактивны  $\text{HCO}_3$ -Mg-Ca источник «Кургазак» санатория Янган-Тау (M 0,5 г/л, Rn 0,15–0,17 Bq/л) и один из источников Красноуфольского месторождения Cl-Na состава (M 7,6–13,5 г/л, Rn 0,27–0,67 Bq/л).

На Южном Урале к карстогенным относится Ассинское месторождение MB, представленное Cl ( $\text{HCO}_3$ -Cl)-Na (Ca-Na) источниками с M до 21 г/л, а также многочисленные проявления  $\text{SO}_4$ -Cl и Cl вод пестрого катионного состава с M до 4,7 г/л в карбонатных породах кизильской свиты нижнего карбона Магнитогорского мега-синклинория.

Всего в РБ на базе трещинно-карстовых MB функционирует более 15 курортов, санаториев и бальнеолечебниц, а также несколько заводов розлива MB.

Значительные запасы пресных вод сосредоточены в 3-х крупных карстовых бассейнах, сложенных карбонатными породами: 1) внутреннем Уфимского плато (P1as-a); 2) моноклинальном Бугульминско-Белебеевской возвышенности (P2kz) и 3) линейном Западно-Уральском (C-D). Модули естественных ресурсов в них изменяются от 2–3 до 7–10 л/(с • км<sup>2</sup>) и выше. Наибольшую ценность как источник крупного хозяйственно-питьевого водоснабжения представляют карстовые воды Уфимского плато, на базе которых можно создать водозабор для

обеспечения качественной водой Уфимско-Благовещенской агломерации, избавив впредь население от угрозы фенольно-диоксиновой опасности.

Большую роль карст сыграл в перестройке месторождений пластовых бокситов, приуроченных к верхнедевонским известнякам западного склона Южного Урала (месторождения Кукшик, Айское, Ново-Пристанское и др.). С карстовыми воронками также связаны месторождения фосфоритов Башкирского Предуралья в Архангельском, Гафурийском, Ишимбайском районах. Карстовые процессы способствовали образованию месторождений переотложенных марганцевых руд (Улу-Телякское, Ашинское) и месторождений окисленных железных руд в предгорной и горной зонах Башкортостана на закарстованных карбонатных породах палеозоя (P-D) и более древних отложениях.

На современном этапе изучения карста весьма актуальным является организация карстового мониторинга различного уровня и целевого назначения, который позволит дать научно-обоснованный анализ закономерностей формирования и размещения 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.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Карст Башкортостана / Р.Ф. Абдрахманов, В.И. Мартин, В.Г. Попов [и др.]. Уфа: Информреклама, 2002. 383 с.
2. Мартин В.И., Абдрахманов Р.Ф. Карстоопасность территории г.Уфы // Вестн. Акад. наук Респ. Башкортостан. 2007. Т. 12, № 4. С. 6–15.
3. Смирнов А.И., Абдрахманов Р.Ф. Карстоопасность территории Республики Башкортостан // Вестн. Акад. наук Респ. Башкортостан. 2007. Т. 12, № 2. С. 5–11.
4. Рождественский А.П. Новейшая тектоника и развитие рельефа Южного Приуралья. М.: Наука, 1971. 304 с.
5. Смирнов А.И. Геологическое строение. Карст // Атлас Республики Башкортостан. Уфа:

Башкортостан, 2005. С. 60.

6. Абдрахманов Р.Ф., Мартин В.И. Гидрогеоэкология г. Уфы / УНЦ РАН. Уфа, 1993. 44 с.
7. Абдрахманов Р.Ф. Гидрогеоэкология Башкортостана. Уфа: Информреклама, 2005. 344 с.
8. Лыкошин А.Г. Карст и гидротехническое строительство. М.: Стройиздат, 1968. 183 с.
9. Абдрахманов Р.Ф., Тюр В.А., Юров В.М. Юмагузинское водохранилище: Формирование гидрологического и гидрохимического режимов. Уфа: Информреклама, 2008. 152 с.
10. Абдрахманов Р.Ф. Оценка карстовой опасности при гидротехническом строительстве // Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире: материалы 9-й Междунар. научн.-практ. конф. «Геориск-2015». М.: РУДН, 2015. С. 27–32.

REFERENCES

1. Karst Bashkortostana [Karst in Bashkortostan] / R.F. Abdrakhmanov, V.I. Martin, V.G. Popov [etc.]. Ufa, Informreklama, 2002. 383 p. (In Russian).  
2. Martin V.I., Abdrakhmanov R.F. Karstoopasnost territorii g. Ufy [Karst hazard on the territory of Ufa]. Vestnik Akademii nauk Respubliki Bashkortostan – Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, 2007, vol. 12, no. 4, pp. 6–15 (In Russian).  
3. Smirnov A.I., Abdrakhmanov R.F. Karstoopasnost territorii Respubliki Bashkortostan [Karst hazard on the

territory of the Republic of Bashkortostan]. Vestnik Akademii nauk Respubliki Bashkortostan – Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, Ufa, 2007, vol. 12, no. 2, pp. 5–11 (In Russian).  
4. Rozhdestvenskiy A.P. Noveyshaya tektonika i razvitie relyefa Yuzhnogo Priuralya [Neotectonics and relief development of the South Urals]. Moscow, Nauka, 1971. 304 p. (In Russian).  
5. Smirnov A.I. Geologicheskoe stroenie. Karst [Geological structure. Karst]. Atlas Respubliki Bashkortostan [Atlas of the Republic of Bashkortostan]. Ufa, Bashkortostan. P. 60 (In Russian).