

ФОРМИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ГОРОДА УФЫ

Геологическая среда в пределах урбанизированных территорий представляет собой сложную постоянно изменяющуюся природно-техногенную систему. Здесь происходит интенсивная трансформация химического состава вод и изменение естественного взаимодействия в системе «вода — порода — газ — органическое вещество». В формирующихся техногенных водоносных горизонтах обнаруживаются такие концентрации различных химических элементов, которые для естественных условий формирования подземных вод являются уникальными (аномальными), а с экологических позиций — устрашающими [Питьева, 1984; Сагитов и др., 1990; Абдрахманов, 1993, 1997, 1998, 2005; Крайнов и др., 2004 и др.].

Объектом исследований является г. Уфа — один из наиболее крупных промышленных (нефтехимических, химических, машиностроительных и др.) центров России с населением свыше 1 млн. человек.

Рельеф. Город расположен на востоке Русской равнины в пределах Прибельской холмисто-увалистой равнины. Абсолютные отметки колеблются от 80–85 (урезы рек Белой, Уфы) до 200–212 м (районы «Старой Уфы», парка «Гафури», междуречье Белой — Шугуровки). Основная часть города (жилая и промышленная) находится в пределах так называемого «Уфимского полуострова» (Бельско-Уфимская водораздельная равнина). Микрорайоны «Дема», «Сипайлово», «Затон», «Кооперативная поляна» и другие расположены в пойме и на первой надпойменной террасе в долинах рек Белой, Уфы и Демы. «Уфимский полуостров» от долин Белой и Уфы почти повсеместно отделяется крутым уступом высотой 50–100 м. Ширина «полуострова» колеблется от 2–2,5 км в центральной части (район Лихачевской излучины) до 5–7 км в северной и южной частях города, а протяженность его (с севера на юг) составляет около 30 км (рис. 1).

Бельско-Уфимская водораздельная равнина расчленена овражной сетью эрозионно-карстового происхождения, а также долинами рек Шугуровка (в северной) и Сутолока (в южной части города), протекающих почти параллельно Белой и Уфе с севера на юг. В формировании рельефа «Уфимского полуострова» наряду с природными процессами (эрозия, карст и пр.) в последние годы активно участвуют и техногенные (засыпка оврагов, карстовых воронок, озер, намывные участки, возведение дамб, проходка канав и др.). Последние вызвали,

в свою очередь, интенсификацию природных процессов — усиление суффозионно-карстовых и эрозионных явлений, подъем уровня грунтовых вод и, как следствие, — подтопление отдельных городских территорий [Абдрахманов, 1993; Абдрахманов, Мартин, 1993; Карст ..., 2002].

Климат. На качество поверхностных и подземных вод значительное влияние оказывают атмосферные осадки, выпадающие в пределах территории города. Своеобразное местоположение города (перепад отметок от водораздельной поверхности к долинам рек до 100–120 м, окруженность его с трех сторон водными артериями, узкое и вытянутое положение и др.) вызывает формирование своеобразных климатических условий: инверсии в температуре, силе и направлении ветра, количестве осадков и пр. Климат района, по данным метеостанции «Уфа — Дема», континентальный, амплитуды колебаний температуры воздуха в многолетнем разрезе достигают 88 °С (от –49 °С до +39 °С). Среднемесячная температура января составляет –14,9 °С, а июля +18,9 °С; среднемноголетняя годовая температура +2,8 °С. Продолжительность безморозного периода равняется 128 дням (колеблется по годам от 76 до 176 дней).

Температурный режим почвы в целом повторяет годовой ход температуры воздуха. Среднегодовая температура почвы +4 °С, колеблется от –16 °С в январе до +24 °С в июле. Глубина промерзания почвы в среднем составляет 94 см (колеблется по годам от 63 до 130 см). Нормативная глубина промерзания, согласно СНиП 2.01.01–82, составляет 180 см.

Район исследований относится к зоне достаточного увлажнения (гидротермический коэффициент около 1,1). Средняя годовая упругость водяного пара 7,2 мб, относительная влажность воздуха 75%. Недостаток насыщения воздуха в среднем за год составляет 3,6 мб. Среднее годовое количество осадков достигает 789 мм/год. Максимальное суточное количество осадков около 58 мм. В среднем за год отмечается до 0,5 дней с осадками 30,0 мм, до 3 дней с осадками более 20 мм, до 34 дней с осадками более 5,0 мм. Испарение с поверхности суши составляет 442, а с водной поверхности 705 мм.

Химический состав атмосферных осадков и минерализация характеризуются большой пестротой. Дождевая вода в северной (промышленной) части города преимущественно хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатная, в южной (жилой) — гидрокарбонатно-сульфатная и сульфатно-гидрокарбо-

¹ Башкирский государственный аграрный университет.

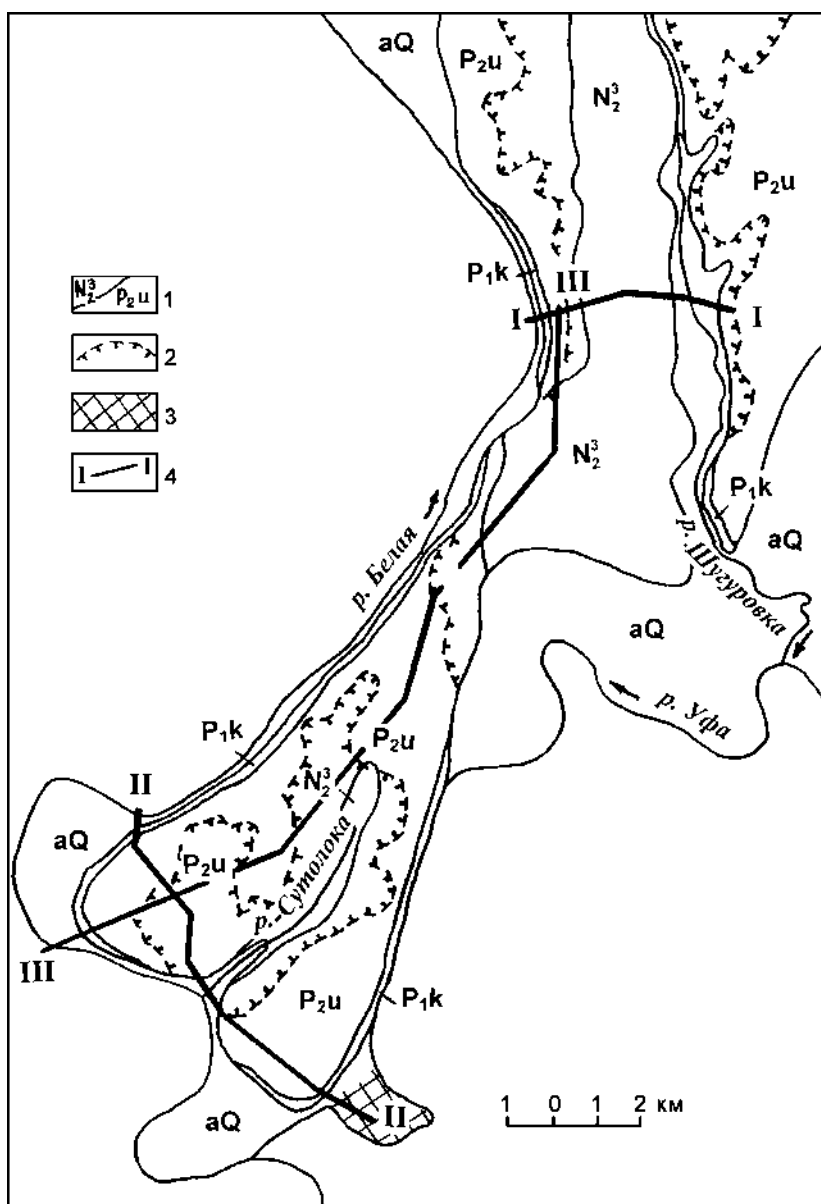


Рис. 1. Гидрогеологическая схема «Уфимского полуострова»

Условные обозначения: 1 — гидростратиграфическая граница; 2 — граница развития грунтовых вод в неогеново-четвертичных отложениях; 3 — участок Южного водозабора; 4 — линия гидрогеологического разреза

натная. Среди катионов преобладают ионы кальция и магния. Тип воды IIIa, pH 6,35–6,95, Eh до +355 мВ. Снеговая вода в зависимости от места отбора имеет минерализацию 8–62 мг/л, pH — 6,4–7,6, Eh — от +210 до +285 мВ. Анионный состав также достаточно пестрый (наряду с гидрокарбонатными и сульфатными ионами преобладающими иногда являются хлоридный и нитратный ионы), среди катионов доминирует кальций и редко — аммоний.

По данным многолетних наблюдений за составом атмосферных осадков по метеостанции Уфа [Черняева и др., 1978], минерализация их изменя-

ется от 7,4 до 67,1 мг/л (в среднем 31 мг/л). Крайние и средние значения (в скобках) концентрации основных ионов следующие (мг/л): гидрокарбонат — 0–25,4 (6,5), сульфат — 2–31,6 (11,6), хлор — 0,7–11,8 (3,9), кальций — 0,4–14,6 (4,3), магний — 0,2–4,0 (1,3), натрий — 0,2–15,1 (3,0), калий — 0,1–3,1 (1,0). Реакция среды, как правило, кислая (pH — 4,4–7,2, в среднем 6,2). Количество растворенных солей, выпадающих в год, составляет в среднем 20,2 т/км².

Атмосферные осадки в северной (промышленной) части насыщаются также бенз(а)пиреном.

На площадках, окружающих промышленные нефтехимические предприятия г. Уфы, в воздухе отмечена концентрация бенз(а)пирена $1,5\text{--}4\text{ нг/м}^3$ и более, что превышает ПДК (1 нг/м^3). Известно, что вдыхание воздуха с концентрацией бенз(а)пирена, равной ПДК для атмосферного воздуха, уже вызывает канцерогенный эффект [Израэль и др., 1992].

Гидрография. Основную техногенную нагрузку несут реки, формирующиеся в пределах городской территории: Шугуровка и Сутолока.

Река Шугуровка, правый приток р. Уфы (см. рис. 1), имеет длину 15 км, площадь водосбора 95 км^2 , среднесуточный расход $0,54\text{ м}^3/\text{с}$ (максимальный — 43, минимальный — 0,22). Она является накопителем сточных вод химических, нефтехимических и других предприятий северной части города, а также загрязненных поверхностных и подземных вод, поступающих с территории Уфимской городской свалки. Качество воды р. Шугуровки в значительной степени определяет качество воды южного водозабора г. Уфы, расположенного в 25 км ниже впадения ее в р. Уфу. Минерализация воды р. Шугуровки в устье колеблется в течение года от 0,63 до 1,01 г/л. Состав воды в устьевой части реки сульфатно-хлоридный, сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатный натриево-кальциевый и магниевый-кальциевый. Тип воды преимущественно IIIa. Содержание ионов хлора — $99,3\text{--}457,0\text{ мг/л}$ (при фоновом содержании $10\text{--}15\text{ мг/л}$), нитратов — $7,5\text{--}32,5\text{ мг/л}$, аммония — до $3\text{--}8\text{ мг/л}$, нефтепродуктов — $0,32\text{--}5,38\text{ мг/л}$, фенолов — $0,008\text{--}0,014\text{ мг/л}$, $C_{\text{орг}}$ — $8,4\text{--}18,2\text{ мг/л}$, БПК₅ — $1,0\text{--}4,07\text{ мг/л}$. Концентрация тяжелых металлов (меди, цинка, свинца, кадмия, хрома и др.) значительно превышает фон и ПДК их для открытых источников. Наибольшие их концентрации обнаруживаются в прудах-накопителях, построенных на притоках р. Шугуровки. В верхнем накопителе, например, расположенном в основании бытовой свалки, содержание (мг/л): меди — от 0,029 до 0,27, свинца — от 0,008 до 0,042, кадмия — от 0,0003 до 0,004, цинка — от 0,13 до 0,61, железа — от 0,005 до 14,0, марганца — от 0,002 до 1,06, хрома — от 0,005 до 0,14, а в нижнем: меди — от 0,0026 до 0,02, свинца — от 0,003 до 0,004, кадмия — от 0,0026 до 0,003, цинка — от 0,1 до 0,18, железа — от 0,02 до 0,85, марганца — от 0,01 до 0,67, хрома — от 0,001 до 0,01. В пробе воды верхнего пруда обнаружены диоксины (до $0,56\text{ нг/л}$ по суммарному эквиваленту загрязнения).

Река Сутолока приурочена к одноименной синклинали, долина ее в низовье имеет ширину до $2\text{--}2,5\text{ км}$. Длина реки 8 км, площадь водосбора 33 км^2 , средний многолетний расход $0,16\text{ м}^3/\text{с}$. Питание происходит родниковым стоком (около 15 источников) и сточными водами, сбрасываемыми

промышленными и коммунальными предприятиями. Химический состав воды реки гидрокарбонатно-сульфатный, сульфатно-гидрокарбонатный натриево-кальциевый и натриевый, тип воды II и IIIa, минерализация — $0,58\text{--}1,05\text{ г/л}$. Река сильно загрязнена различными органическими веществами (NO_3 — до 78,5, NH_4 — 7,4, $C_{\text{орг}}$ — 22,6, нефтепродукты — $2,12\text{ мг/л}$ и др.) и металлами (Cu, Zn, Cr, Ni, Hg и др.). В последние годы в связи с работой заводов не в полную нагрузку и строительством дороги — проспекта Салавата Юлаева (р. Сутолока в значительной степени «закрыта в трубу») сброс отходов в реку снизился и качество воды изменилось в лучшую сторону.

Геолого-тектоническое строение. В геолого-тектоническом отношении территория города расположена на восточной окраине Русской платформы, где кристаллический фундамент перекрыт мощной (до 8 км) толщей осадочных пород фанерозойского возраста. В верхней части чехла, обнажающейся здесь, развиты пермские, неогеновые и четвертичные отложения (рис. 2).

Четвертичные отложения развиты в долинах рек Белой, Уфы и на Бельско-Уфимском междуречье. В долинах рек они представлены аллювиальными (aQ) галечниками и песками (нижняя часть разреза) мощностью $10\text{--}15$, иногда до $25\text{--}30\text{ м}$. Сверху они перекрыты перигляциальными глинистыми осадками (супеси, суглинки, глины). Мощность последних колеблется от $1\text{--}3$ до $15\text{--}20\text{ м}$.

На Бельско-Уфимском междуречье четвертичные ($Q, N_2^3\text{--}Q_1$) элювиально-делювиальные осадки (участками это нерасчлененные неогеново-четвертичные общесыртовые отложения) повсеместно покрывают более древние породы. Представлены они глинами, суглинками мощностью от $0,5\text{--}2$ до $10\text{--}15\text{ м}$.

Неогеновая система в долинах рек Белой и Уфы представлена кинельской свитой ($N_2 kn$), выполняющей переуглубленную их часть, а на Бельско-Уфимском междуречье (бассейны рек Шугуровки и Сутолоки) — нерасчлененными акчагыльским ($N_2 ak$) и апшеронским ($N_2 ap$) ярусами. Кинельская свита в верхней части сложена плотными серыми глинами, а в основании — песками и галечниками общей мощностью до $70\text{--}100\text{ м}$. Акчагыльско-апшеронские осадки залегают на размытой поверхности уфимского яруса, а в бассейне р. Шугуровки — и на кинельских глинах. Представлены они красновато-коричневыми, серовато-коричневыми плотными глинами, в нижней части с прослоями песков. Общая мощность их достигает 50 м .

Пермская система на водораздельной территории г. Уфы представлена уфимским (соликамский и шешминский горизонты) и кунгурским ярусами.

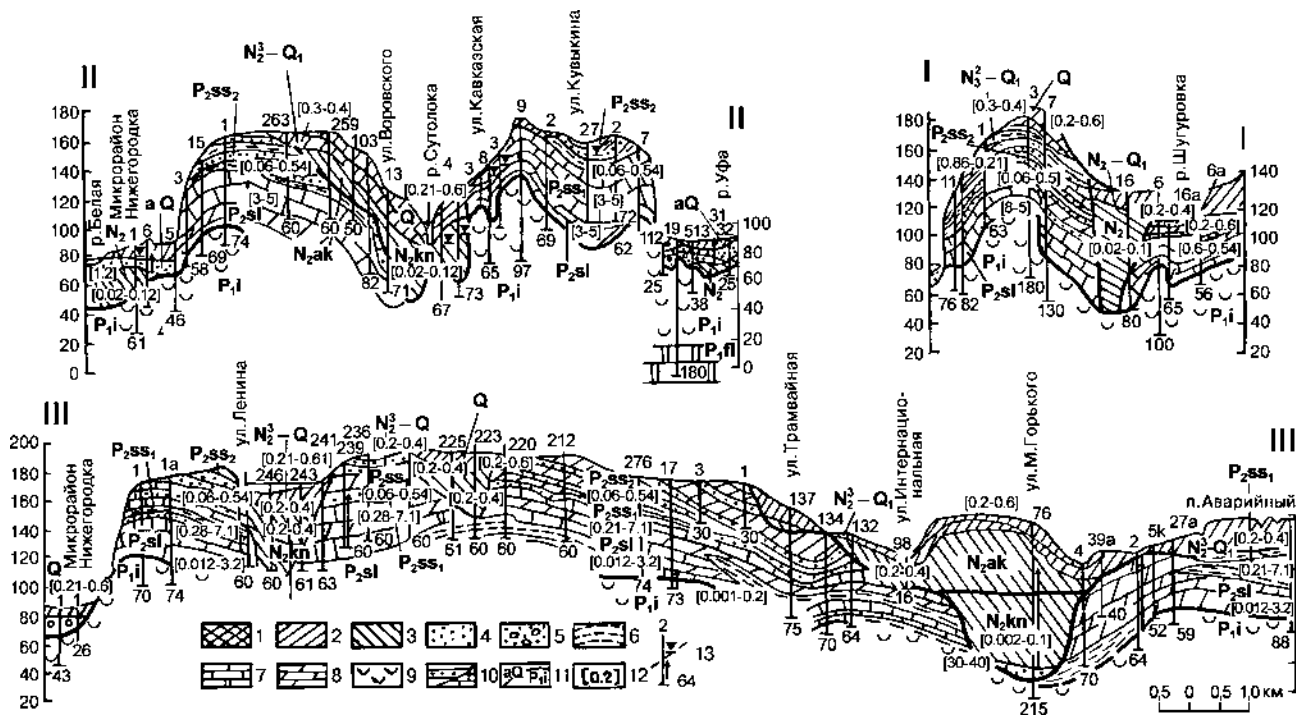


Рис. 2. Гидрогеологические разрезы «Уфимского полуострова»

Условные обозначения: 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

Уфимский ярус (P_2ss , P_2sl) залегают согласно на кунгурских породах. В местах максимального подъема кровли кунгурского яруса разрез представлен только соликамским горизонтом (P_2sl) — частым переслаиванием известняков, глинистых доломитов, мергелей, загипсованных аргиллитоподобных глин, алевролитов и песчаников общей мощностью до 15–25 м. В центральной части Бельско-Уфимского междуречья, где породы залегают синклиналино, мощность уфимского яруса увеличивается до 60 м и более. Здесь он сложен, наряду с соликамскими, и шешминскими (P_2ss) отложениями (песчаниками, часто загипсованными, аргиллитоподобными глинами, алевролитами, известняками).

Кунгурский ярус (P_1) сложен светло-серыми гипсами и ангидритами с прослоями загипсованных глин и доломитов. Они обнажаются в основании крутых берегов рек Белой и Уфы. В центральной части междуречья, где отложения залегают синклиналино (см. рис. 2), описываемые породы вскрываются скважинами ниже урезов Белой и Уфы. Мощность яруса в районе г. Уфы до 340 м.

В пределах города грунтовые водоносные горизонты развиты в аллювиальных четвертичных осадках долин рек Белой и Уфы, в акагальско-апшеронских отложениях, а также безнапорные или слабо-

напорные межпластовые водоносные горизонты присутствуют в уфимском и кунгурском ярусах (см. рис. 2). На Бельско-Уфимском междуречье четвертичные и неогеново-четвертичные (общесыртовые) породы обводнены участками или вода в них появляется периодически (весной и осенью). Питание всех водоносных горизонтов происходит путем инфильтрации атмосферных осадков. Кроме атмосферных осадков, в последние десятилетия значительную роль в пополнении запасов подземных вод, особенно первого от поверхности водоносного горизонта в неогеново-четвертичных отложениях, стали играть утечки из водопроводной и канализационной сетей, технологических установок, прудов-накопителей, биологических прудов и прочих емкостей. Обычно на месте утечки наблюдается подъем уровня подземных вод и формирование купола растекания в водоносном горизонте. Температура этих вод колеблется от 5–10 до 20–30 °С, иногда до 90–100 °С (порывы паро- и теплопроводов). Доля техногенного источника в пополнении подземных вод достигает 30–50% и более от природного [Абдрахманов, 1993].

Химический состав вод четвертичных и неоген-четвертичных образований в жилой части города преимущественно гидрокарбонатный и сульфатно-

гидрокарбонатный кальциевый, магниевый-кальциевый, тип — II и IIIa. Минерализация воды — 0,66–1,31 г/л. Содержание нитрат-иона — одного из основных показателей загрязненности подземных вод — составляет 15–60 мг/л, на отдельных участках иногда до 150–200 и 1500 мг/л. В промышленной части города подземные воды часто приобретают хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатный, гидрокарбонатно-хлоридный и хлоридный кальциевый, натриево-кальциевый, магниевый-кальциевый состав, что сопровождается переходом типа воды II в IIIб. Минерализация воды достигает 13,6 г/л [Абдрахманов, 1993, 2005; Зайнуллин, Абдрахманов, Савичев, 1997].

Водоносные горизонты в акчагыльско-апшеронских и кинельских отложениях развиты в основном в северной части города (бассейн р. Шугуровки). Глубина залегания подземных вод колеблется от 3–10 до 30–40 м. Воды безнапорные или слабонапорные, а в кинельских базальных галечниках — напорные (см. рис. 2). Обводнены преимущественно песчано-гравийные прослои (дебиты скважин изменяются от 0,8–4,5 до 85–87, а источников — от 2,5 до 10,5 м³/сут). Коэффициент фильтрации (K_f) пород изменяется от 10^{-3} до 10^{-5} м/сут. Состав вод гидрокарбонатно-сульфатный кальциевый (тип воды II), а на промышленных площадках — гидрокарбонатно-хлоридный кальциевый (IIIб). Минерализация воды соответственно изменяется от 0,4 до 2,2 г/л.

Водоносный комплекс в уфимских отложениях имеет почти повсеместное распространение в пределах «Уфимского полуострова». В результате чередования в разрезе водопроницаемых (песчаники, известняки) и относительно водоупорных (глины, алевролиты) пород образуется система этажно-расположенных водоносных горизонтов, пластов и линз мощностью от 1–3 до 8–10 м со сложной гидравлической связью. Глубина залегания подземных вод от 2–10 м на склонах долин рек Белой и Уфы до 70 м в центральной части «Уфимского полуострова», где уфимские отложения перекрыты неогеново-четвертичными осадками. В последнем случае они приобретают напор до 30–40 м (см. рис. 2). Колебания уровней составляют 2–7 м. Питание комплекса происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков и утечек из водонесущих коммуникаций непосредственно в уфимские отложения или в результате перетоков из неогеново-четвертичных отложений. Дебиты родников изменяются от долей до 5–10 л/с, а K_f пород — от 0,012 до 32 м/сут. Минерализация вод колеблется от 0,43 до 1,84 г/л. На территории ОАО «Нефтехим» она достигает 2,5 г/л. Повышенная минерализация вызвана присутствием в воде сульфат-иона, а на участках

интенсивного техногенного воздействия — также хлоридного и нитратного ионов. По составу воды гидрокарбонатные, сульфатно-гидрокарбонатные, гидрокарбонатно-сульфатные кальциевые, магниевый-кальциевые (тип воды II или IIIa). На отдельных участках они гидрокарбонатно-хлоридные, гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридные кальциевые, натриево-кальциевые типа IIIб.

Водоносность кунгурских отложений связана с их трещиноватостью и закарстованностью. В свою очередь, степень трещиноватости и закарстованности зависит от глубины эрозионного расчленения этих образований плейстоценовыми и плиоценовыми долинами рек системы Белой и Уфы. Мощность трещинно-карстовой зоны составляет от нескольких до 30–40 м. Вскрываются воды на глубинах от 10–20 до 100–120 м. Часто они напорные (до 50 м), в долинах рек иногда самоизливаются. Пьезометрические уровни устанавливаются на отметках 85–130, участками — 160 м. Разгрузка водоносного горизонта происходит в долины рек (в основном скрытая). Источники редки, дебит их составляет 0,04–2,5 л/с. По химическому составу воды обычно сульфатные кальциевые (1–2,5 г/л) типа II, а на промышленных площадках сульфатно-хлоридные кальциевые (2,1 г/л) типа IIIб. Проникающие в гипсы кунгурского яруса из уфимских и неогеново-четвертичных отложений воды обладают высокой агрессивностью (дефицит насыщения гипсом достигает 2,0 г/л). Агрессивность резко повышается при поступлении в эти породы техногенных растворов и достигает 5–6 г/л.

Интенсивному проникновению загрязняющих веществ на большую глубину, практически на всю мощность зоны активного водообмена (до 70–100 м), и за короткое время (от 0,1–0,3 до 1–2 лет) способствуют геолого-геоморфологические условия территории г. Уфы. Как уже было отмечено, основная часть города (и жилая, и промышленная) расположена на Бельско-Уфимском водоразделе, сложенном хорошо проницаемыми сульфатно-карбонатными и терригенными породами. Глинистые отложения, определяющие защищенность подземных вод от загрязнения, маломощны или имеют локальное развитие. Развиты водоносные горизонты, пласты, линзы со сложным соотношением уровней (рис. 3). В гидрогеодинамическом отношении на водоразделах наблюдается обратное соотношение уровней вод (см. рис. 3, разрез 1) этажно-расположенных горизонтов с глубиной, что является необходимым условием возникновения нисходящих межпластовых перетоков. В долинах рек Уфы, Белой, наоборот, напоры вод в отложениях уфимского и кунгурского ярусов превышают уровни в аллювии (см. рис. 3, разрез 2).

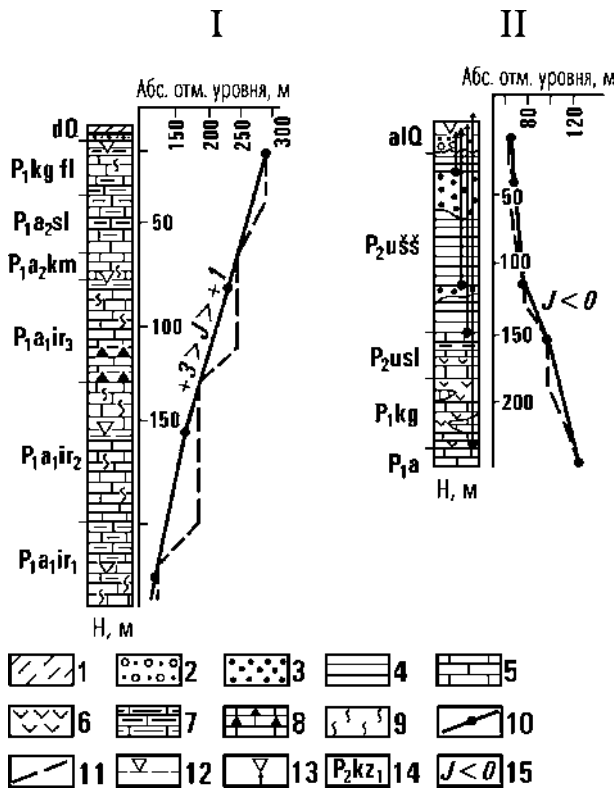


Рис. 3. Типизация гидродинамических разрезов верхнего этажа бассейна [Попов, 1985]

I — с обратным соотношением уровней этажнорасположенных горизонтов: $J > 0$; II — с прямым соотношением уровней: $J < 0$. Условные обозначения: 1–8 — породы: 1 — суглинки, 2 — песчано-галечниковые отложения, 3 — песчаники, 4 — глины, алевролиты, 5 — известняки, 6 — гипсы, 7 — известняки глинистые, 8 — известняки битуминозные; 9 — трещиноватость; 10 — линия изменения уровней с глубиной; 11 — то же, видоизмененная в результате схематизации гидродинамических условий; 12 — уровень безнапорных вод; 13 — пьезометрический уровень; 14 — индекс возраста пород; 15 — величина градиента фильтрации

Подстилающими породами кунгура являются карбонатные породы сакмаро-артинского возраста. К ним приурочены минеральные хлоридные натриевые воды (глубина 352–540 м), используемые в санатории «Зеленая роща» в лечебных целях. В здравнице как лечебно-столовая (глубина 46–50 м) применяется также сульфатно-кальциевая вода («Нурлы») из кунгурских отложений.

Особенности распространения карста. Из приведенной характеристики природных условий следует, что в пределах территории г. Уфы и в ее окрестностях имеются все 4 условия (по Д.С. Соколову [1962]) для активного развития карстового и карсто-суффозионного процесса, а именно:

— повсеместное участие в геологическом разрезе растворимых в воде пород (гипсы, ангидриты, известняки, доломиты и мергели);

— их хорошая водопроницаемость (все перечисленные породы трещиноваты, участками сильно кавернозны);

— наличие движущихся подземных вод (почти повсеместно к ним приурочены подземные воды, разгружающиеся в долины рек Белой и Уфы);

— высокая агрессивность инфильтрационных вод к водовмещающим сульфатным и карбонатным породам.

Как известно, интенсивность карстового процесса зависит от многих факторов, таких как степень покрытости карстующихся пород некарстующимися, положение карстующихся пород по отношению к базису эрозии, вертикальный градиент фильтрации, коэффициент фильтрации, агрессивность вод, поступающих из вышележащих пород, хозяйственная деятельность человека и др. [Абдрахманов, Мартин, 1993; Карст ..., 2002].

Карст на территории г. Уфы и в ее окрестностях главным образом связан с кунгурскими гипсами и гипсоносными породами соликамского и шешминского горизонтов и, в значительно меньшей степени, — с карбонатными соликамскими и шешминскими породами (рис. 4).

Согласно схеме типизации карста Башкортостана [Мартин, 1975], в пределах г. Уфы развиты три класса карста: сульфатный, карбонатный и карбонатно-сульфатный. По степени защищенности сверху некарстующимися породами преобладают два подкласса — 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 является одним из основных факторов, определяющих неравномерное развитие карста на междуречье. Установлено, что современный рельеф в пределах междуречья во многом был предопределен рельефом кровли гипсов (см. рис. 2). Долины рек Сутолоки и Шугуровки 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.

Установлено закономерное сосредоточение карстопроявлений на участках выходов или близкого к поверхности залегания известняково-мергелистых пород соликамского и шешминского горизонтов (голый и покрытый карбонатный карст). Наиболее типичными участками распространения покрытого карбонатного карста являются присклоновые участки междуречья Белой и Уфы, выположенные склоны долин рек Сутолоки и Шугуровки.

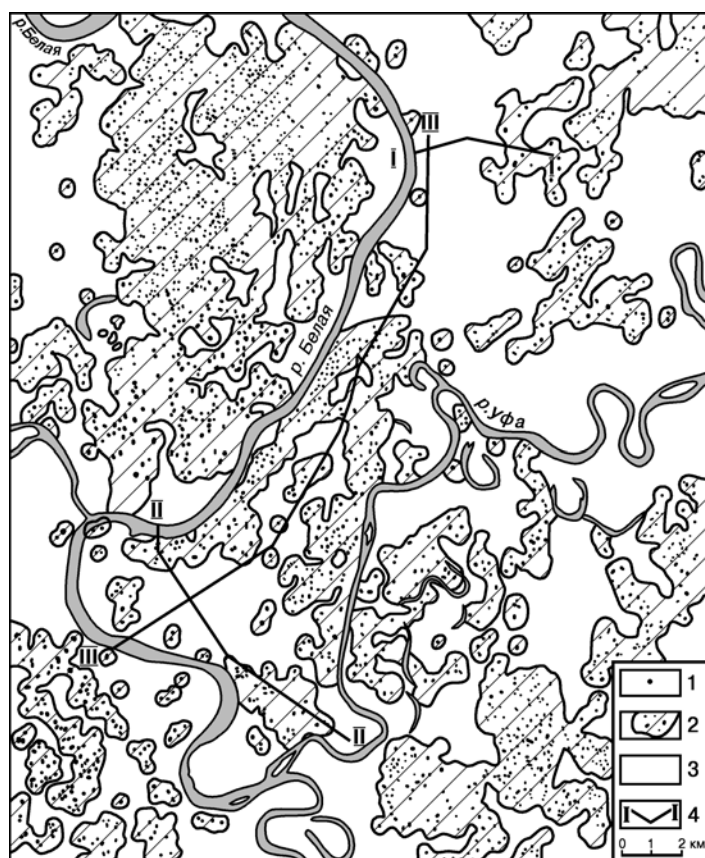


Рис. 4. Карта закарстованности территории г. Уфы [Абдрахманов, Мартин, 1993]

Условные обозначения: 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 (см. рис. 2)

Территории, где карстующиеся породы перекрыты сверху шешминскими красноцветами, характеризуются практически полным отсутствием поверхностных карстопроявлений: это большая часть Бельско-Сутолокского, Сутолокско-Уфимского и Бельско-Шугуровского платообразного междуречий с полигенетическим рельефом. Участки выклинивания шешминских терригенных пород, как правило, сопровождаются многочисленными воронками преимущественно карстово-суффозионного генезиса. Это обусловлено разгрузкой горизонта грунтовых вод, приуроченного к песчанникам, и поглощением в подстилающие карбонатные толщи, следствием чего является активизация карстово-суффозионного процесса вдоль таких зон перетоков.

Наибольшая плотность поверхностных карстопроявлений, связанных с карбонатным карстом, наблюдается в средней и верхней частях склонов долин рек Белой и Уфы, а также на локальных участках вдоль пологих склонов долин рек Сутолоки и Шугуровки, где известняково-мергелистые породы шешминской и соликамской свит залегают под маломощным чехлом четвертичных и общесыртовых глинистых отложений.

Карст, связанный с уфимскими карбонатными породами, ограничен их небольшой мощностью,

рухляковым состоянием и относительно низкой водопроницаемостью, а потому поверхностные карстопроявления в них отличаются меньшим размером, чем в гипсах и, как правило, имеют суффозионно-карстовый генезис [Абдрахманов, Мартин, 1993].

В прибортовых частях палеодолин и оврагов (рис. 5), на участках примыкания к коренным склонам заполняющих их глинисто-суглинистых неогеново-четвертичных отложений, часто наблюдаются воронки чисто суффозионного генезиса (воронка в парке им. Калинина, оседание на территории ГПТУ по ул. Нежинской и др.).

Карст в гипсах во многом зависит от химического состава, структуры и степени выветрелости. Наиболее легкорастворим химически чистый, желвачной структуры гипс, менее растворим крупнокристаллический, наиболее часто встречающийся в разрезах.

Ведущую роль в карстово-суффозионном процессе на склонах долин рек Белой и Уфы играют трещины бортового отпора. Они отчленяют 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.

На крутых склонах речных долин карстующиеся породы сильно разбиты трещинами различного происхождения. Кроме трещин бортового отпора, широко развиты трещины напластования и выветривания.

Тектонические разрывные нарушения установлены по данным дешифрирования аэрофотоматериалов. Прежде всего четко прослеживается диагональная (планетарная) система трещин с простиранием СВ 30° и СЗ 300°. Кроме них установлены протяженные субмеридиональные и субширотные тектонические нарушения. Эти трещины унаследованы долинами Сутолоки и Шугуровки, вдоль них заложены некоторые прямолинейные отрезки русел Белой и Уфы [Карст ..., 2002].

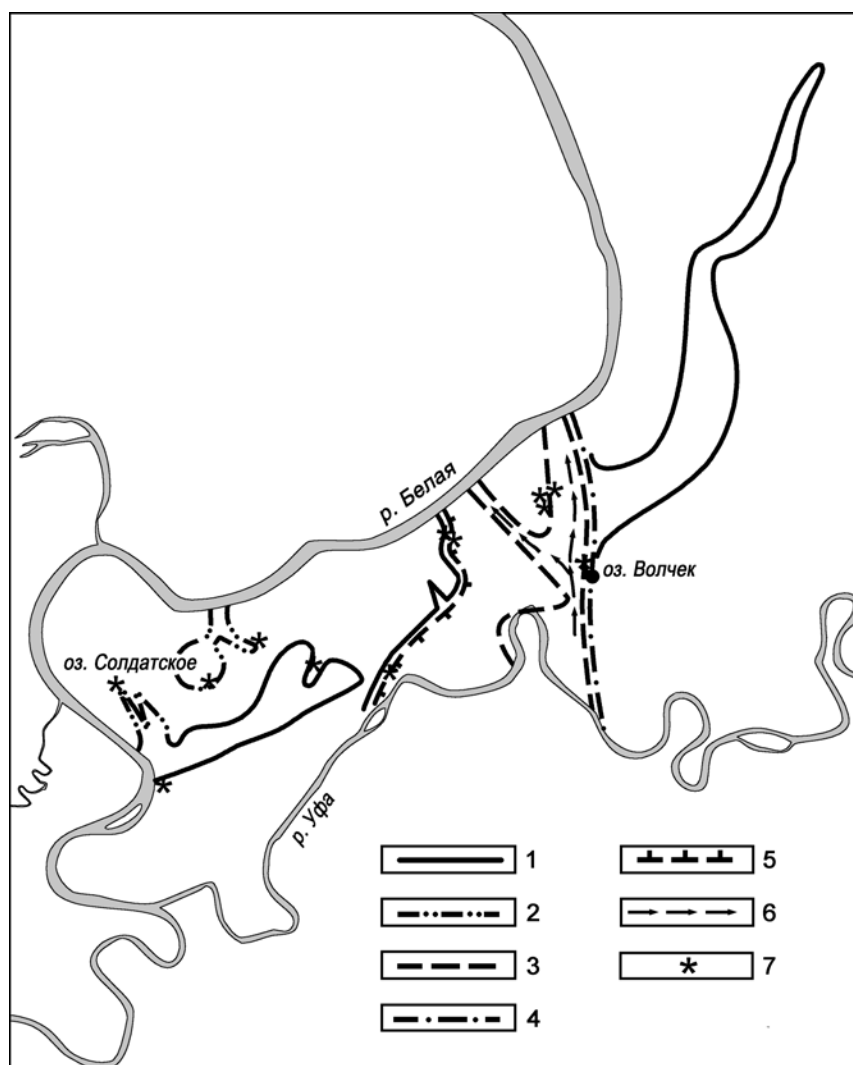


Рис. 5. Схема расположения палеодолин и палеоврезов на «Уфимском полуострове» [Карст ..., 2002]

Условные обозначения: 1 — палеодолины; 2 — контур палеовреза; 3 — контур переуглубленного палеорусла; 4 — контур переуглубленной палеодолины; 5 — контур современного коренного склона, совпадающий с контуром палеодолины или палеовреза; 6 — ось палеорусл; 7 — участки с деформациями зданий (сооружений), приуроченные к борту палеодолины или палеовреза

Изысканиями последних лет выявляется все более тесная связь поверхностных карстопоявлений (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.

Древняя гидросеть выражена эрозионными врезами различной глубины в пермских породах, заполненными позже неогеновыми и четвертичными

глинистыми отложениями. В пределах территории г. Уфы древняя эрозионная сеть была широко развита. Данные бурения и геофизические исследования позволяют проследить контуры переуглубленных (то есть наиболее глубоких) палеодолин и палеорусл в современных долинах рек Белой и Уфы (см. рис. 5).

Ширина древних эрозионных врез в пределах современной долины реки Сутолки достигает 800–950 м, а глубина 75 м. На бортах древних эрозионных врез оказались 5-этажные жилые дома в районе Башкирского драмтеатра им. М. Гафури, Памятник борцам за революцию, 5-этажное здание республиканского центра начисления пенсий и пособий, здание больницы № 2 и аптечного склада, 9-этажные жилые дома по Уфимскому шоссе,

корпуса 10 и 10а Уфимского приборостроительно-производственного объединения (ФГУП УППО). Наиболее типичными примерами деформаций являются трещины в здании городского кожвендиспансера, в административном здании АНК «Башнефть» и особенно — в здании спортзала-мастерских одного из ПТУ на ул. Нежинской.

В пределах междуречья установлены древние карстово-эрозионные котловины диаметром до 750–800 м, выполненные акчагыльскими глинами. К бортовой части такой котловины приурочено оз. Солдатское, а также огромная, диаметром около 600 м, карстовая поглощающая воронка около Затонского мостового перехода через р. Белую.

Уступы современных склонов, совпадающие с уступами, обрамляющими палеодолину р. Уфы в северной части города, сопровождаются наибольшей современной активностью карстово-суффозионного процесса. К таким уступам приурочены карстово-суффозионные воронки и депрессии в парке им. Калинина, карстовые провалы и оползни карстового происхождения, которые привели к деформации домов и магистральной дороги в жилом районе «Сипайлово».

По данным А.И. Смирнова [1998], наиболее активно карст развивается на Уфимском карстовом косогоре. На нем сосредоточено около 300 карстовых форм (воронок, провалов, поноров, слепых оврагов). Плотность воронок составляет в среднем 36 на км², коэффициент закарстованности — 0,28%. В пределах оврагов он достигает 3–13%, а на межовражьях не превышает 0,04%, то есть последние почти не затронуты карстом. Это же подтверждается распределением карстовых форм. Из 26 карстовых провалов, образовавшихся в период с 1976 по 1988 г., 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 км². Наблюдения показывают, что карстовые провалы наиболее часто возникают в дождливый (многоснежный) или же в следующий за ним год.

Самый крупный карстовый провал на карстовом косогоре произошел в 1927 г. в основании коренного склона (в тыловом шве долины). Площадь провала составила 1500 м², глубина — 12–14 м, объем — 8000 м³. На его засыпку, продолжавшуюся 14 дней, потребовалось 400 вагонов балласта.

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 с входами в основании Пугачевской горы и напротив д. Н. Дудкино (правый берег р. Уфы) достигает нескольких километров. Необходимо отметить, что входы в эти штольни плохо закрыты, в связи с чем среди населения были несчастные случаи со смертельным исходом.

Рост города и освоение территорий, ранее считавшихся непригодными для градостроительных целей, неизбежно сопровождаются 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 [Абдрахманов, Мартин, 1993].

В одних случаях деятельность человека способствует активизации карста и суффозии, а в других — наоборот, препятствует. К числу факторов, способствующих развитию карстово-суффозионных процессов, относятся:

- нарушение водоупорных свойств покровных отложений;
- возникновение техногенных источников формирования подземных вод (различного 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.

Влияние первого из перечисленных факторов сказывается при рытье многочисленных траншей для прокладки коммуникаций, планировочных работах, массовой проходке скважин при изысканиях и их некачественной ликвидации, в результате чего происходит искусственное ухудшение водоупоров и залегающие ниже карстующиеся породы становятся открытыми для дополнительного доступа воды.

Активизации карста, как было отмечено выше, способствуют также 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 (около автовокзала, в районе управления железной дороги, в Старой Уфе и других местах).

Второй фактор — один из наиболее существенных и является следствием неизбежных утечек из всех водонесущих коммуникаций (водопровод, канализация, теплосети). Расчеты показывают, что доля этих утечек в питании подземных вод достигает 25–30, иногда до 50% [Абдрахманов, Мартин, 1993]. 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. Почти 80% случаев карстовых провалов в г. Уфе и его окрестностях в той или иной мере связаны с утечками из водонесущих коммуникаций.

Факторы хозяйственной деятельности человека, препятствующие развитию карста:

- ликвидация поверхностных карстопоявлений;
- увеличение мощности водозащитного покрова над карстующимися отложениями;
- создание искусственных водозащитных покрытий на улицах и территории промышленных предприятий (асфальтирование, бетонирование и др.);
- упорядочение стока атмосферных вод путем создания ливневых коллекторов;
- проведение целенаправленных инженерных противокарстовых мероприятий профилактического плана и ликвидационного тампонажа глубинных форм карста;
- содержание в порядке подземных коммуникаций (водопроводной, канализационной, тепловой сетей и т.п.).

Многие поверхностные формы карста в городской черте в процессе застройки сnivelированы, засыпаны. Наиболее существенной и эффективной мерой противодействия карстово-суффозионному процессу является осуществление плановых мер противокарстовой защиты, то есть управление карстовым процессом по заранее разработанной методике. Такие меры противокарстовой защиты проводятся на Уфимском карстовом косогоре для защиты железной дороги практически со времени ввода ее в эксплуатацию и включают:

- систематическое инженерно-геологическое наблюдение;
- отвод разгружающихся выше по склону подземных вод и формирующегося стока талых и дождевых вод через систему искусственных сооружений (шахты, штольни);
- искусственную ликвидацию поверхностных карстопоявлений и заполнение полостей под путями путем тампонажа.

Меры инженерной защиты закарстованных оснований зданий и сооружений в последние годы начали достаточно широко применяться в г. Уфе в связи с участвовавшими аварийными ситуациями. Наиболее часто применяется метод тампонажа закарстованного массива под зданиями (9-этажный дом по ул. Вологодской, корпус 10а приборостроительного объединения). Комбинированные методы: тампонаж в сочетании с погружением многосекционных свай и закреплением здания бандажными применены на доме № 4 по Уфимскому шоссе, здании Министерства социальной защиты населения РБ.

Активизация карста отрицательно повлияла на возможность строительства метрополитена. Первый этап изысканий (1982 г.) под ТЭО метро глубокого заложения от остановки «Строительная» до ж/д станции «Бензин» показал, что участки пересечения трассой склонов долины р. Уфы и ее палеодолины являются опасными или потенциально опасными в карстовом отношении для будущей линии метро. При этом варианте глубокого заложения метро применение конструктивных мер противокарстовой защиты практически невозможно. К тому же по трассе в районе улиц Российской и Руставели выявлен участок, который оценивается как неустойчивый в карстовом отношении и непригодный для строительства метро. Из-за сложности геолого-гидрогеологических условий отдельных участков и, самое главное, большой стоимости первый вариант прокладки трассы не был одобрен.

Проведенные позже (1987–1988 гг.) изыскания под метро мелкого заложения (до 15 м) по несколько иной трассе (смещенной полностью под проспект Октября) показали, что геолого-гидрогеологические условия строительства здесь в основном благоприятные. Лишь на трех небольших участках пересечения со склонами палеоэрозионных форм строительство тоннеля потребует применения конструктивных мер противокарстовой защиты. В существующих геолого-гидрогеологических условиях (с минимальным воздействием на геологическую среду, в частности на активизацию карста) более оптимальным является вариант метро мелкого заложения [Абдрахманов, Мартин, 1993].

Таким образом, широкое развитие на территории г. Уфы карстово-суффозионных процессов и связанных с ними проявлений поверхностных и подземных форм (воронок, провалов, слепых оврагов, каверн, полостей и пещер) является следствием не только естественных, но и активных техногенных факторов, причем воздействие последних во многом соизмеримо с природным. Совместное воздействие техногенного и естественного процессов ведет к резкому усилению карста и суффозии. Такие условия характерны для склоновых и

присклоновых участков, где происходят перетоки грунтовых вод в низезалегающие карстовые водоносные горизонты.

Геохимическое состояние подземных вод. Геологическая среда в пределах территории г. Уфы, как уже отмечалось, представляет собой сложную постоянно изменяющуюся природно-техногенную систему. Здесь происходит интенсивная трансформация химического состава вод и изменение естественного взаимодействия в системе «подземная вода – порода – газ – органическое вещество».

В южной (жилой) части города основными компонентами — показателями загрязнения подземных вод являются соединения азота. Среди них геохимически наиболее устойчив нитрат-ион, содержание которого колеблется в источниках (родниках) от 8 (0,8%) до 200 мг/л (18,1%). Иногда в режимных скважинах концентрация его достигает 1100–1530 мг/л (45,7–67,6%), при этом минерализация воды достигает 2,9–3,0 г/л. В 38% источников в зимнее время содержание нитратов превышает требования СанПиН 2.1.4.1074–01 (45 мг/л). Вода источников, за редким исключением, жесткая (8,4–19,6 мг-экв), то есть не отвечает нормативным требованиям (менее 7,0 мг-экв). Содержание микроэлементов в целом ниже ПДК. Только марганец в отдельных источниках превышает ПДК в 5,5–6,5 раза. В районе ФГУП УППО отмечено превышение по хрому (2,2 ПДК), ртути (до 2 ПДК) и некоторым другим элементам. Практически во всех источниках при опробовании в зимнее время (февраль) отмечено присутствие нефтепродуктов (до 0,1–0,2 мг/л, иногда до 0,72 мг/л), фенолов (до 30 ПДК) и других органических примесей. По микробиологическим показателям вода источников также мало благоприятна.

Режимные наблюдения за химическим составом и минерализацией воды источников свидетельствуют о том, что на участках, где антропогенное воздействие на подземные воды небольшое, эти показатели более стабильны. На участках, где вмешательство человека постоянное, они испытывают значительные колебания по сезонам года (максимальные концентрации в январе – феврале и июне – июле).

В промышленной (северной) части города (территории ОАО «Уфанефтехим», ОАО «Уфаоргсинтез», нефтеперерабатывающих заводов, городской свалки и др.) грунтовые воды часто приобретают хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатный, гидрокарбонатно-хлоридный, хлоридный кальциевый, натриево-кальциевый, магниевый-кальциевый состав. Тип воды II (сульфатно-натриевый) переходит в IIIб (хлоркальциевый), одновременно возрастает минерализация подземных вод от 0,4 до 13,6 г/л.

В них присутствуют тяжелые металлы, нефтепродукты, фенолы, диоксины. На территории свалки содержание тяжелых металлов в воде колеблется (мг/л): меди 0,002–27,9, свинца 0,05–9,4, кадмия 0,0003–1,29, цинка 13,0–63,6, железа 420,8–2540, марганца 7,2–31,6, хрома 0,8–15,3.

На территории нефтеперерабатывающих заводов г. Уфы и на площадках наливных эстакад (до 0,1–0,2 км²) горные породы насыщены нефтепродуктами на глубину нескольких метров, а на отдельных участках развития закарстованных галогенно-карбонатных пород (правобережье р. Белой) образованы техногенные месторождения нефтепродуктов мощностью от 0,1–0,3 до 1,5–2,0 м. Содержание нефтепродуктов в грунтовых водах четвертичных отложений достигает 161–412 мг/л.

Суммарное содержание диоксинов в грунтовых водах на территории городской свалки от 1,01 до 18,57 нг/л (51–929 ПДК), в том числе 2,3,7,8-ТХДД (полихлорированных дибензо-*p*-диоксинов) — от 0,25 до 1,45 нг/л. Кроме того, суммарное содержание полихлорированных дибензофуранов (ТХДФ) — от 1,05 до 6,72 нг/л, в том числе токсичных 2,3,7,8-ТХДФ — от 0,25 до 0,9 нг/л.

Высокие концентрации диоксинов, фенолов, тяжелых металлов отмечаются и в неоген-четвертичных отложениях, заключающих подземные воды. На территории свалки в породах суммарное содержание ТХДФ на глубине 2 м достигает 12330 нг/кг, а наиболее токсичных 2,3,7,8-ТХДД — 2530–7540 нг/кг (рис. 6). На глубине 4 м концентрация 2,3,7,8-ТХДД составляет 500 нг/кг, а суммарное содержание ТХДД — 1510 нг/кг. Концентрация (мг/кг) меди изменяется с глубиной от 9191–500 (глубина 2–3 м) до 46,0 (5 м) и до 28 (16 м), свинца соответственно — 296–18,5, кадмия — 27,78–0,6, ртути — 2,8–0,04 [Абдрахманов, 1997, 1998].

В нижележащих водоносных горизонтах отмечены также высокие концентрации нитратов и нефтепродуктов, например, до 200–300 мг/л нитратов и до 85 мг/л нефтепродуктов в уфимском водоносном горизонте.

Даже воды кунгурских отложений, залегающие на глубине свыше 30–50 м, включая прилегающие к свалке территории заводов, содержат в очень высоких концентрациях нефтепродукты (до 26–104 мг/л), фенолы (до 0,035–9 мг/л), различные металлы (мг/л): железо — 18,8–44,4, марганец — 0,67–1,4, алюминий — 0,22–0,93.

В промышленной части города, где нефтеперерабатывающие, нефтехимические, химические и другие промышленные предприятия образуют гигантский источник загрязнения природной среды, в подземных водах, как указывалось, обнаруживаются аномально высокие концентрации многих

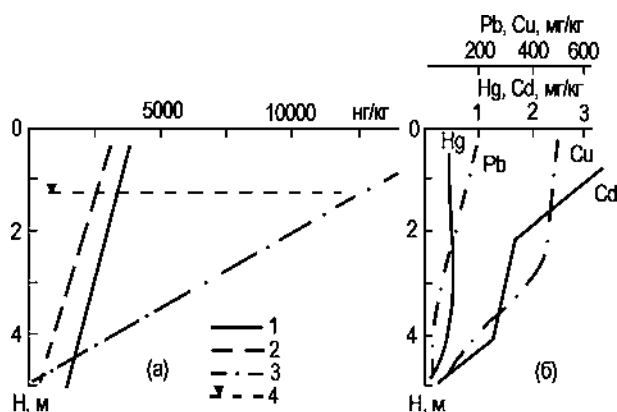
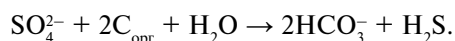


Рис. 6. Изменение концентраций диоксинов (а) и ТМ (б) в горных породах на территории городской свалки

Условные обозначения: 1 — суммарное содержание ТХДД; 2 — содержание 2,3,7,8-ТХДД; 3 — суммарное содержание ТХДФ; 4 — уровень грунтовых вод

химических соединений (органических и неорганических). Исследования показывают, что наиболее интенсивному воздействию геологическая среда подвергнута с поверхности до глубины 15–20 м. Диоксины и тяжелые металлы в почвогрунтах на территории промышленных предприятий концентрируются в приповерхностной зоне (до 5–7 м). В интервале глубин от 5–7 м до 20 м содержание их значительно уменьшается. Жидкие органические загрязнители и водорастворимые соли проникают практически на всю глубину зоны активной циркуляции. Результатом являются источники, разгружающиеся из аллювиальных четвертичных галечников и гипсов кунгурского яруса в основании обрывистого склона долины р. Белой у нефтеналивных причалов 1 и 2 Уфимского нефтеперерабатывающего завода. Они представляют собой пластовые (до 40 м) выходы с суммарным дебитом всего 0,5–1,5 л/с и превышением над урезом воды р. Белой 0,5–0,7 м. Вода источников содержит сероводород (от 0,1–0,2 до 1,5–2 мг/л). Породы насыщены нефтью, местами они покрыты сухим битумом (площадью 5×40 м). Здесь в результате взаимодействия сульфатнасыщенных подземных вод и органических веществ происходит процесс сульфатредукции, протекающий с участием десульфатирующих бактерий по схеме:



Как отмечают С.Р. Крайнов и др. [2004], процесс сульфатредукции в нейтральной среде может начинаться и при положительных значениях рН, Eh.

На миграционные возможности ингредиентов в подземных водах большое влияние оказывают их растворимость в воде, концентрация и сорбируе-

мость, минеральный, микроагрегатный состав, адсорбционные свойства пород и др. Опытными работами установлено, что сорбция фенолов глинистыми породами наиболее интенсивно протекает в течение первых пяти часов контакта грунта с загрязненным раствором, достигая 40% сорбируемости пород. Затем интенсивность резко падает и за сутки достигает 50%. В дальнейшем процесс сорбции протекает равномерно и за 4–5 суток происходит «сработка» потенциальной поглотительной способности. На пятые сутки 80% фенолов инфильтруются через грунт, не подвергаясь сорбции.

Пестициды, которые относятся к хлорированным углеводородам, слаборастворимы в воде. При поступлении в почвы и породы они удерживаются сорбционными силами. Концентрация пестицидов в почвогрунтах находится в прямой зависимости от минерального состава пород, присутствия других органических веществ, рН среды, температуры и пр. Интенсивность сорбции пестицидов зависит от суммарной удельной поверхности сорбентов, которая падает от глин к супесям. Она максимальна для монтмориллонитовых глин — до 500–800 м²/г. Отмечается зависимость комплексобразования пестицидов и от состава обменных катионов глинистых минералов.

Неогеново-четвертичные глинистые породы, развитые в промышленной зоне, обладают в целом высокими сорбционными свойствами. Емкость поглощенного комплекса (ПК) их составляет 43,2–46,1 ммоль/100 г. В нем доминируют двухвалентные катионы (до 97,5–98,6%): кальций — 83,2–87,8% и магний — 10,3–14,1%. Глинистые минералы представлены группой монтмориллонита (80–85%), содержание гидрослюдов не превышает 10–15%, а каолинита — 3–5% [Попов, Абдрахманов, Тугуши, 1992].

Воздействие стоков химических и других предприятий, как уже отмечалось, особенно интенсивно проявляется до глубины 10–20 м. В стоках этих предприятий обычно присутствуют, наряду с поглощаемыми, и непоглощаемые вещества, а также лиганды (адденды), которые с катионами раствора образуют комплексные соединения, сильно снижающие адсорбцию катионов и емкость ПК до 24,9–11,65 ммоль/100 г. При этом содержание кальция в ПК падает до 43,3%, соответственно резко возрастает концентрация натрия (до 47,1%). Калий в ПК пород присутствует в небольших количествах — 0,9–2,3%.

На территории свалки и нефтехимических предприятий происходят резкие изменения и в составе водорастворимых солей глинистых отложений. Если за пределами этих предприятий водные вытяжки из пород имеют минерализацию всего 76,6–

105,6 мг/100 г, то на их территории концентрация растворов достигает 936–1222 мг/100 г. Среди анионов преобладают хлоридный (23,5–41,1%) и нитратный (22,9–59,5%) ионы. Доля гидрокарбонат-иона падает до 12,9%. Среди катионов доминирует ион натрия (39,1–74,4%). При этом содержание кальция снижается до 23,1–12,4% против 80,2–56,7%. Концентрация магния невысокая (3,1–10,4%, иногда до 19,3%), а калия — в пределах 0,7–10,1%. С глубины 8–10 м минерализация водных вытяжек снижается до 200–307 мг-экв/100 г. Здесь же максимальны показатели ПК (46,4–53,9 ммоль/100 г).

Тяжелые металлы активно сорбируются на поверхности глинистых частиц, входят в состав кристаллических решеток и образуют собственные минералы в результате изоморфного замещения. На характер распределения по глубине тяжелых металлов влияют емкость ПК, наличие геохимического барьера, состав пород, содержание органических веществ и пр. Накопившиеся в почвогрунтах тяжелые металлы медленно удаляются при выщелачивании. Период полураспада составляет для цинка — 70–150, кадмия — 13–110, меди — 310–1500, свинца — 740–5900 лет [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989]. Процесс самоочищения пород практически приближается к бесконечности.

Геохимическая судьба диоксинов в геологической среде слабо изучена. Известно [Диоксины ..., 1990], что диоксины весьма стойкие соединения. Они слаборастворимы в воде, но хорошо растворяются в органических растворителях, образуются как побочные продукты при некоторых химических процессах. В геологической среде г. Уфы появление диоксинов главным образом связано с крупнейшим не только в России, но и в мире производством хлорсодержащих гербицидов 2,4,5-Т и 2,4-Д в ОАО «Уфанефтехим». Диоксины сильно абсорбируются почвогрунтами, где они, благодаря химической стабильности к биоразложению, могут сохраняться в течение многих лет. Период полураспада в почве наиболее токсичных 2,3,7,8-ТХДД составляет 10–20 лет, причем он считается сильно заниженным [Федоров, 1993].

Миграционные возможности диоксинов в подземной гидросфере не изучены. В ряде работ [Диоксины ..., 1990; Федоров, 1993] предполагалась возможность проникновения их в почвенный слой на незначительную глубину. В целом считалось, что диоксины накапливаются только в гумусовом горизонте (до глубины 20–30 см). Данные для г. Уфы, полученные в ходе исследований по программе «Диоксины» [1995], позволяют утверждать, что диоксины вместе с другими органическими соединениями проникают в подземные воды на значительную глубину. По неполным пока данным, на

территории ОАО «Уфанефтехим» в высоких концентрациях они обнаруживаются на глубинах до 10–15 м, а на территории городской свалки — до 20 м [Абдрахманов, 1997, 1998]. Параметры миграции диоксинов и тяжелых металлов в подземной гидросфере, по-видимому, близки. Это подтверждается сравнением глубины проникновения диоксинов и тяжелых металлов в глинистые породы на территории городской свалки. Как видно из рис. 6, характер миграции и глубина проникновения этих веществ совпадают. Миграция происходит в водонасыщенной среде (рН — 6,73–6,83).

Таким образом, для урбанизированных территорий характерны загрязнители поликомпонентного состава. Происходит химическое, тепловое, бактериальное загрязнение подземных вод и формируются техногенные водоносные горизонты со сложным химическим составом воды.

Литература:

- Абдрахманов Р.Ф. Техногенез в подземной гидросфере Предуралья. — Уфа: УНЦ РАН, 1993. — 208 с.
- Абдрахманов Р.Ф. Геохимия экотоксикантов в подземных водах урбанизированных территорий // Геохимия. — 1997. — № 6. — С. 630–636.
- Абдрахманов Р.Ф. Влияние техногенеза на качественное состояние подземных вод урбанизированных территорий // Водные ресурсы. — 1998. — Т. 25, № 3. — С. 339–344.
- Абдрахманов Р.Ф. Гидрогеоэкология Башкортостана. — Уфа: Информреклама, 2005. — 344 с.
- Абдрахманов Р.Ф., Мартин В.И. Гидрогеоэкология г. Уфы. — Уфа: УНЦ РАН, 1993. — 45 с.
- Диоксины в окружающей среде: Научный доклад по загрязнению № 27. — Лондон: Ее Величества правительственное изд-во, 1990. — 130 с.
- Диоксины: Экологические проблемы и методы анализа / ИППЭиП. — Уфа, 1995. — 360 с.
- Зайнуллин Х.Н., Абдрахманов Р.Ф., Савичев Н.А. Утилизация промышленных и бытовых отходов (на примере Уфимской городской свалки). — Уфа: УНЦ РАН, 1997. — 235 с.
- Израэль Ю.А., Василенко В.Н., Дликман И.Ф. и др. Загрязнение окружающей среды бенз(а)пиреном и канцерогенная нагрузка на человека // Докл. АН СССР. — 1992. — Т. 325, № 2. — С. 264–266.
- Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. — М.: Мир, 1989. — 439 с.
- Карст Башкортостана / Р.Ф. Абдрахманов, В.И. Мартин, В.Г. Попов, А.П. Рождественский, А.И. Смирнов, А.И. Травкин. — Уфа: Информреклама, 2002. — 383 с.
- Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. — М.: Наука, 2004. — 677 с.
- Мартин В.И. Гидрогеология и типы карста Башкирии: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. — Пермь, 1975. — 31 с.

Питьева К.Е. Гидрогеологические аспекты охраны геологической среды. — М.: Наука, 1984. — 221 с.

Попов В.Г. Гидрогеохимия и гидрогеодинамика Предуралья. — М.: Наука, 1985. — 278 с.

Попов В.Г., Абдрахманов Р.Ф., Тугуши И.И. Обменно-адсорбционные процессы в подземной гидросфере / БНЦ УрО РАН. — Уфа, 1992. — 156 с.

Сагит Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. — М.: Недра, 1990. — 335 с.

Смирнов А.И. Проявления экзогенных геологических процессов на Южном Урале и в Предуралье (интенсив-

ность распространения и активность развития): Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук / Гос. университет. — Пермь, 1998. — 17 с.

Соколов Д.С. Основные условия развития карста. — М.: Госгеолтехиздат, 1962. — 322 с.

Федоров Л.А. Диоксины как экологическая опасность; ретроспектива и перспективы. — М.: Наука, 1993. — 266 с.

Черняева Л.В., Черняев А.М., Могиленских А.К. Химический состав атмосферных осадков (Урал и Приуралье). — Л.: Гидрометеоздат, 1978. — 179 с.