Научная статья
УДК 551.312.3:550.461
DOI: 10.31084/2619-0087/2022-1-1

КАРСТ ЮЖНОГО УРАЛА И ПРЕДУРАЛЬЯ, СОВРЕМЕННАЯ АКТИВНОСТЬ ЕГО РАЗВИТИЯ

Р. Ф. Абдрахманов, А. О. Полева, В. Н. Дурнаева, А. Р. Бакиева, Е. А. Еранов, С. П. Носарева

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

Исследованиями последних лет установлена тесная связь поверхностных карстопроявлений и деформаций зданий и сооружений с погребенными формами палеогидросети. Освоение территорий, ранее считавшихся непригодными для строительных целей, неизбежно сопровождается серьезным воздействием человека на геологическую среду и, как результат, происходит активизация карстовых процессов. Техногенная современная активность сульфатного и сульфатно-карбонатного карста наиболее выражена в пределах промышленно-урбанизированных территорий Бельско-Уфимского («Уфимский полуостров») междуречья и районах нефтедобывающего техногенеза (Туймазинский, Шкаповский и др.).

Авторами создана база данных ГИС-проект «Карст Южного Урала и Предуралья», которая содержит геопространственные данные о проявлениях карстового процесса в растворимых породах на территории Южного Урала и Предуралья. Управление базой данных осуществляется при помощи классификатора «Карст».

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

Благодарности: Работы выполнены по теме FMRS-2022–0013

Original article

KARST OF THE SOUTHERN URALS AND THE CIS-URALS, THE CURRENT ACTIVITY OF IT'S DEVELOPMENT

R. F. Abdrakhmanov, A. O. Poleva, V. N. Durnaeva, A. R. Bakieva, E. A. Eranov, S. P. Nosareva

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

Recent studies have established a close relationship of surface karst manifesta-tions and deformations of buildings and structures with buried forms of paleohy-dronet. The development of territories previously considered unsuitable for construc-tion purposes is inevitably accompanied by a serious human impact on the geological environment and, as a result, karst processes are activated. The technogenic modern activity of sulfate and sulfate-carbonate karst is most pronounced within the industri-ally urbanized territories of the Belaya — Ufa ("Ufa Peninsula") interfluve and areas of oil-producing technogenesis (Tuymazinsky, Shkapovsky, etc.).

The authors created a GIS database project "Karst of the Southern Urals and the Cis-Urals", which contains geospatial data on the manifestations of the karst pro-cess in soluble rocks in the South Urals and Cis-Urals. The database is managed using the "Karst" classifier.

Для цитирования: *Р. Ф. Абдрахманов, А. О. Полева, В. Н. Дурнаева, А. Р. Бакиева, Е. А. Еранов, С. П. Носарева* Карст Южного Урала и Предуралья, современная активность его развития // Геологический вестник. 2022. №1. С. 3–22. DOI: 10.31084/2619-0087/2022-1-1

For citation: R. F. Abdrakhmanov, A. O. Poleva, V. N. Durnaeva, A. R. Bakieva, E. A. Eranov, S. P. Nosareva (2022) Karst of the sSouthern Urals and the Cis-Urals, the current activity of it's development. *Geologicheskii vestnik*. 2022. No. 1. P. 3–22. DOI: 10.31084/2619-0087/2022-1-1

© Р. Ф. Абдрахманов, А. О. Полева, В. Н. Дурнаева, А. Р. Бакиева, Е. А. Еранов, С. П. Носарева, 2022

Keywords: karst, Southern Urals and Cis-Urals, karst activation, karst hazard, chemical composi-tion of groundwater, GIS technologies.

Acknowledgements: the work was carried out within the framework of the Theme No. FMRS-2022–0013

Введение

Развитие карстового процесса, как правило, происходит на глубине и скрыто от непосредственного исследования. Это обуславливает малопредсказуемый ход его развития и предопределяет по степени неожиданности его проявления и причиняемому ущербу как самого опасного геологического процесса (ОГП) в регионе.

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

Исследованиями последних лет установлена тесная связь поверхностных карстопроявлений (воронки, провалы) и деформаций зданий и сооружений с погребенными формами палеогидросети. Как правило, вдоль бортов древней гидросети, заполненной в настоящее время 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.

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

Распространение карста на Южном Урале и в Предуралье

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

Относится регион к карстовой стране Восточно-Европейской равнины (рис. 1, I) и Уральской карстовой стране (II). В первой — развит равнинный карст в горизонтально и пологозалегающих породах в пределах платформенной части (I-А) и предгорный карст в пологозалегающих и слабо дислоцированных породах в пределах Предуральского прогиба (I-Б). Во второй (II) — горный карст в сильно дислоцированных образованиях Центрально-Уральского поднятия и равнинный карст в складчато-глыбовых отложениях Зауралья в пределах Магнитогорского погиба (II-Б) [Карст…, 2002].

В карстовой стране Восточно-Европейской равнины (Южное Предуралье) развит главным образом сульфатный карст, в меньшей степени карбонатный и кластокарст, с подчиненным

Условные обозначения к рис. 1: *Карстовая страна Восточно-Европейской равнины* (I): 1 — равнинный карст в горизонтально и пологозалегающих породах Предуралья, 2 — равнинный и предгорный карст Предуралья в пологозалегающих и слабо дислоцированных породах. *Уральская карстовая страна* (II): 3 — горный карст в сильно дислоцированных образованиях Урала, 4 — равнинный карст в складчато-глыбовых отложениях Зауралья. 5–8 — типы карста: 5 — карбонатный, 6 — сульфатный, 7 — сульфатно-карбонатный, 8 — кластокарст; 9 — возраст карстующихся пород; 10 — контур палеодолин; 11–13 — границы: 11 — карстовых стран; 12 — типов карста; 13 — граница Башкортостана

Legend to fig. 1: *Karst country of the East European Plane* (I): 1 — plane karst in the horizontal and flat-lying rocks of the Urals, 2 — plane and foothill karst of the Cis-Urals in flat-lying and poorly dislocated rocks. *Ural karst country* (II): 3 — mountain karst in highly dislocated formations of the Urals, 4 — plane karst in folded-block deposits of the Trans-Urals. 5–8 — karst types: 5 — sulfate, 6 — carbonate, 7 — sulfate-carbonate, 8 — klastokarst; 9 — age of karst rocks; 10 — paleovalley contour; 11–13 — borders: 11 — karst countries; 12 — karst types; 13– border of Bashkortostan

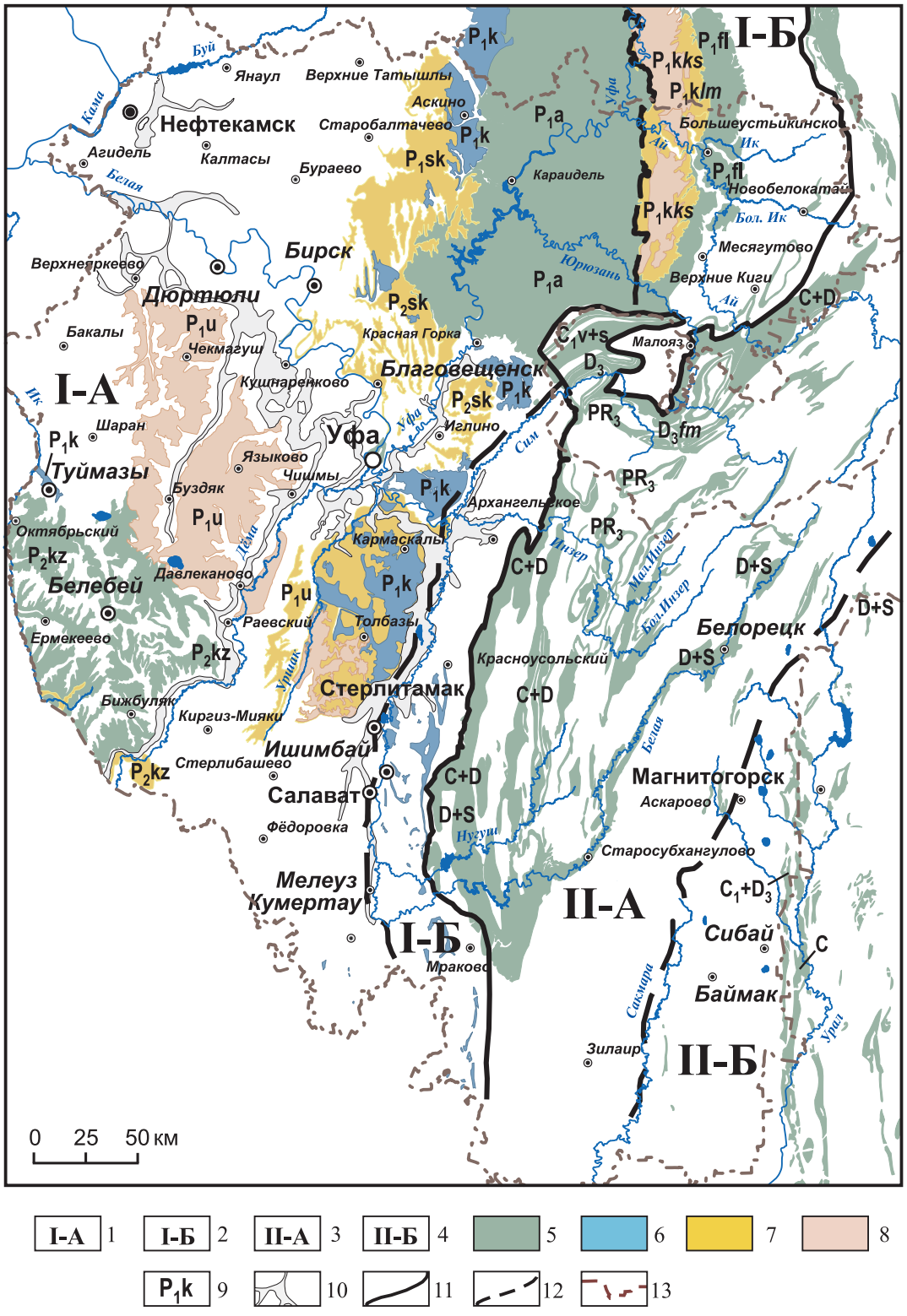

Рис. 1. Распространение карста на территории Южного Урала и Предуралья (по В. И. Мартину, [Карст…, 2002], с дополнениями и изменениями Р. Ф. Абдрахманова [Абдрахманов и др. 2016, 2017])

Fig. 1. Karst distribution in the Southern Urals and the Urals (according to V. I. Martin, [Karst…, 2002], with additions by R. F. Abdrakhmanov [Abdrakhmanov, Popov, 2017])

значением сульфатно-карбонатного. Эти классы (типы) карста развиваются в условиях сглаженного рельефа и спокойного (горизонтального, пологонаклонного и слабо дислоцированного) залегания горных пород. Несмотря на разнообразие карста по составу карстующихся пород, максимальная закарстованность и современная активность проявления карста на поверхности в этой части Южного Предуралья характерна для сульфатного карста.

Сульфатный карст связан с гипсами кунгурского (P_1k) яруса (см. рис.1). Наибольшее развитие этот тип карста имеет в восточной окраине Русской равнины (долина реки Белой в среднем течении, западное обрамление Уфимского плато, небольшие участки в среднем течении р. Ик — устье р. Усень). Проявления сульфатного карста представлены всеми известными формами (голый, покрытый, перекрытый и закрытый) как поверхностными (воронки, колодцы, котловины и др.), так и подземными (ниши, гроты, пещеры и др.). Частота их встречаемости находится в прямой зависимости от мощности пород, покрывающих карстующиеся отложения, а также от их состава и характера их водопроницаемости.

Наряду с отрицательными формами сульфатного карста в Южном Предуралье имеются уникальные положительные карстовые формы — карстовые останцы (рис. 2), сформированные на эрозионно-карстовых поверхностях днищ долин-дрен. Наиболее представлены они в устьевой части р. Аургазы. Подобные им положительные карстовые формы рельефа, как в Южном Предуралье, так и в целом в карстовой стране Восточно-Европейской равнины встречаются крайне редко.

Карбонатный карст развит в пределах карстовой страны Восточно-Европейской равнины на Уфимском плато в породах артинского яруса (P_1a), в известняках казанского (P_2kz) яруса на Белебеевской возвышенности и известняках филипповского горизонта (P_1fl) нижней перми на Юрюзано-Айском понижении (см. рис.1).

На Уфимском плато из карбонатных пород более подвержены карстованию органогенно-обломочные и чистые рифогенные разности. В кремнистых и битуминозных известняках крупные карстовые формы не встречаются.

Типичными карстовыми формами карбонатного карста на плато являются воронки, часто с понорами, выстраивающиеся в цепочки в верховьях долин-дрен. Нередки также колодцы, провалы, карстовые овраги, суходолы, исчезающие реки, мощные карстовые источники с озерами, пещеры.

Наиболее примечательными карстовыми формами на Уфимском плато (особенно в южной его части) являются суходолы (Яман-Елга, Круш, Бердяшка и др.). Сток по ним имеется только на отдельных участках, обычно в верховьях. Даже весной не все они имеют водоток. Движение подземных вод происходит от менее закарстованных ядер водоразделов к днищам долин и суходолов, под которыми (как наиболее закарстованными участками) образуются концентрированные водотоки, направленные вдоль палеодолин рек и проявляющиеся в их устьях крупными родниками (Красный Ключ — 5–58 м^3/с, Сарва — 0.35–2.9 м^3/с).

В пределах Бугульминско-Белебеевской возвышенности карстопроявления имеются на участках выходов на поверхность казанских карбонатных пород или на участках, где карбонаты перекрыты маломощными элювиально-делювиальными образованиями. Небольшая мощность карбонатной толщи (10–15 м), ее залегание среди некарстующихся пород, затрудненные условия питания обусловили здесь относительно слабое развитие карста. Однако интенсивная трещиноватость, наличие кавернозности («дырчатые известняки») и закарстованности (хотя и слабой) сделали эту толщу наиболее водообильной в верхнепермском разрезе.

Сульфатно-карбонатный карст значительно развит на западной половине Юрюзано-Айского понижения в отложениях лемазинского горизонта нижней перми (P_1klm) и юго-западе Бугульминско-Белебеевской возвышенности (см. рис. 1). Фиксируется он также на западном обрамлении Уфимского плато, где происходит замещение

Рис. 2 Карстовый останец в правобережной части долины р. Аургазы в 0.6 км выше устья (фото Дурнаевой В. Н.)

Fig. 2 Karst outlier in the right-bank part of the valley of the Aurgazy river 0.6 km above the mouth (photo by Durnaeva V. N.)

карбонатных пород кунгурского яруса пермской системы сульфатными. Своеобразием отличается также и приконтактовая зона между соликамскими известняками уфимского яруса и гипсами кунгурского яруса на «Уфимском полуострове» (Бельско-Уфимское междуречье). Наличие слоев гипса в карбонатной толще резко усиливает карстовые процессы, особенно когда сульфатные породы подстилают трещиноватые известняки. Агрессивные слабоминерализованные воды, поступая из известняков в гипсы, активно растворяют их, поэтому к контакту карбонатных пород с сульфатными приурочены наиболее водообильные зоны.

Сульфатно-карбонатный карст на Белебеевской возвышенности развит в бассейнах рек Демы (в районе устья р. Уязы), Ика (верхнее течение). Здесь среди известняков имеются прослои гипсов, мощностью от 2 до 18 м, а на границе с Оренбургской обл. казанские известняки и терригенные породы почти полностью замещаются гипсами. Карстовые воронки обычно приурочены к I, II надпойменным террасам и крутым склонам долин Демы, Ика, Уязы, руч. Шкаповского, образуя небольшие цепочки, совпадающие с преобладающим направлением трещиноватости.

Кластокарст. Под кластокарстом понимается совокупность подземных и поверхностных скульптурных и аккумулятивных форм, образованных в осадочных, переслаивающихся терригенных и терригенно-сульфатно-карбонатных породах (глинах, песчаниках, алевролитах, конгломератах, гипсах, известняках и др.) под влиянием процессов химического и механического воздействия инфильтрогенных вод. На картах этот тип карста выделен впервые нами [Абдрахманов, Попов, 1985, 1992]. При этом подземная химическая денудация заключается в растворении и экстракции цемента (в основном гипсового) и выносе его подземным потоком в области разгрузки. Механическое воздействие — это транспортировка терригенных частиц различного размера в условиях изменяющегося градиента фильтрации. В Южном Предуралье кластокарстовые проявления занимают около 30% его территории (см. рис. 1). Наиболее свойственны они гипсоносным глинам, алевролитам, песчаникам уфимского возраста (P_1u), развитым в бассейнах рек Ика, Демы, Сюня, Базы, Чермасана и др. (см. рис. 1). Достаточно широко представлен кластокарст также на востоке Юрюзано-Айской равнины, связанный с сульфатно-карбонатно-терригенными кошелевскими породами нижней перми (P_1kks). Общая мощность нижнепермской терригенной (карбонатно-терригенной, сульфатно-терригенной) толщи достигает 100–150 м. Количество $CaSO_4$ в цементе пород обычно составляет 3–7% (иногда достигая 30–40%). В результате совокупного влияния химической и отчасти механической форм массопереноса происходит разуплотнение отложений и, как следствие, увеличение их пустотности и проницаемости. На участках наиболее интенсивного протекания кластокарстового процесса коэффициенты фильтрации возрастают на один порядок и более. В сульфатизированных терригенных породах под влиянием процессов экстракции и ионного обмена формируются минеральные сульфатные кальциевые (2–3 г/дм^3) и натриевые (до 15 г/дм^3) воды. В условиях неглубокого залегания обогащенных гипсом осадков образование подземных форм сопровождается и поверхностными кластокарстовыми проявлениями (просадки, провалы). Последние, в отличие от районов типичного сульфатного карста, выражены значительно слабее. Процессы химического и механического воздействия резко активизируются в результате строительства малых гидротехнических сооружений (водохранилищ, прудов), вызывающих рост вертикальных и горизонтальных градиентов напора.

Уральская карстовая страна представлена горным карстом Урала и равнинным карстом Зауралья.

Горный тип карста (II-А) на сильно дислоцированном субстрате приурочен к карбонатным толщам, силурийского (S), девонского (D) и каменноугольного (C) возрастов, развитых в пределах Западно-Уральской внешней зоны складчатости, прибельской части Зилаирского мегасинклинория, Тирлянской и Юрюзанской мульды и карбонатным породам саткинской, авзянской, катавской и миньярской свит верхнего протерозоя в пределах Башкирского мегантиклинория.

Горный рельеф и сильная дислоцированность отложений, частое переслаивание карбонатных и некарбонатных пород при наличии многочисленных разрывных нарушений обусловили более значительную, чем в Южном Предуралье, глубину проникновения карста в толщу карбонатных пород.

В Западно-Уральской внешней зоне складчатости, в строении которой преимущественно принимают участие палеозойские карбонатные отложения, карст развит практически повсеместно. За счет концентрированных подземных водотоков питаются многодебитные родники по долинам рек. Уровень карстовых вод часто залегает ниже,

чем в окружающих некарстующихся породах, а протекающие по ним ручьи и речки теряют свой сток. На западном крыле Зилаирского мегасинклинория, а также в пределах Тирлянской и Юрюзанской мульд развитию карста во многом способствует долина р. Белой, меридиональное течение которой здесь заложено по простиранию карбонатных толщ.

Другой особенностью горного карста Южного Урала является широкое распространение карстовых пещер [Карст…, 2002]. Сформированы они главным образом в известняках, редко они встречаются здесь в доломитах, еще реже в мергелях. В целом, в горной части Южного Урала сосредоточено более 90% от известных на сегодня пещер рассматриваемого региона. Большинство пещер заложено в нижнекаменноугольных (35%), верхне- (24%) и нижнедевонских (19%) известняках, причем наиболее крупные пещеры характерны для верхнедевонских известняков.

Равнинный подтип карста (II-Б) на складчато-глыбовой основе распространен в Зауралье в пределах Тагильско-Магнитогорского прогиба. Здесь, среди эффузивных образований на отдельных участках развиты карбонатные породы. Все отложения сильно дислоцированы и разбиты тектоническими нарушениями. Его особенностью является линейный характер развития процесса, значительная глубина проникновения по зонам тектонических нарушений или литологическим контактам, а отсюда — линейная концентрация карстовых вод и карстопроявлений.

Поверхностные карстопроявления представлены воронками, естественными шахтами, колодцами, провалами, кроме которых в современном рельефе выражены также погребенные карстовые формы. Наибольшим разнообразием форм поверхностных карстопроявлений отличается Кизило-Уртазымская равнина в бассейнах рек Янгельки, Мал. и Бол. Кизила, Худолаза и Бол. Уртазымки, где они связаны с карстом в кизильских известняках нижнего карбона (C_1).

Главной особенностью равнинного карста Зауралья является преобладание древних погребенных карстопроявлений над современными, что свидетельствует о более интенсивном развитии карста в геологическом прошлом. Они обнаруживаются на глубинах до 200–300 м и связаны в основном с известняками янгельской, уртазымской, кизильской и березовских свит карбона. Развиты погребенные карстопроявления вдоль крупных тектонических разломов в бассейнах рек Янгельки, Бол. Кизила, Бол. и Мал. Уртазымки, Сосновки и в ряде других мест. Наличие погребенных отрицательных форм карста, выполненных кайнозойскими образованиями, свидетельствует о древнем его развитии.

Нами в работе рассматривается активизация карстового процесса под влиянием природных и техногенных факторов.

Природная (естественная) активизация карстового процесса

Изысканиями последних лет выявляется все более тесная связь поверхностных карстопроявлений (воронки, провалы) и деформаций зданий и сооружений с погребенными формами палеогидросети [Абдрахманов, 2020; Карст…, 2002; Абдрахманов, Попов, 2017].

Формирование переуглубленной речной сети систем Палео-Волги, Палео-Белой и других палеорек стало уникальным событием в кайнозойской истории Восточно-Европейской равнины. Первые указания на наличие переуглубленного русла р. Волги (в районе г. Казань) относятся к концу XIX века. Однако особое научное и практическое значение проблема погребенных долин системы Палео-Волги, приобрела только во второй половине прошлого столетия в связи с проектированием гидротехнических сооружений на реках Белой, Уфе и др. (Павловское, Юмагузинское водохранилища, рисунки 3, 4), а также проведением поисково-разведочных работ на подземные воды, нефть, газ и другие полезные ископаемые. В результате было установлено размещение и строение древних долин не только названных палеорек Урало-Поволжья, но и их притоков Сюнь, Быстрый Танып, Дема, Сим, Нугуш и др. (см. рис. 1). Имеются некоторые данные (рис. 5) по рекам и озерным котловинам Зауралья (бассейн реки Урал).

Главным геологическим фактором, вызвавшим переуглубление речной сети, явились 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), являвшегося региональным базисом эрозии, вызвало интенсивную донную эрозию, в результате которой образовались глубоковрезанные в подстилающие по-

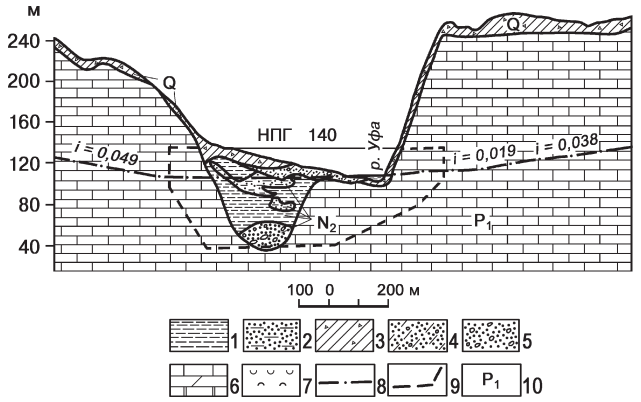

Рис. 3. Геолого-гидрогеологический разрез по створу Павловской плотины [Лыкошин, 1968]

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

Fig. 3. Geological and hydrogeological section along the alignment of the Pavlovskaya dam [Lykoshin, 1968]

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

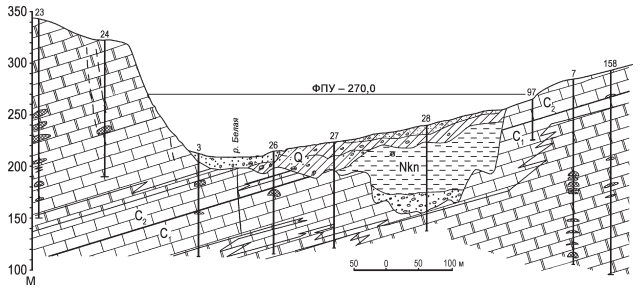

Рис. 4. Геолого-гидрологический разрез по оси плотины Юмагузинского водохранилища) [Карст…, 2002]

Условные обозначения см. на рис. 3

Fig. 4. Geological and hydrological section along the axis of the dam of the Yumaguzinsky reservoir [Karst…, 2002]

See the legend in Fig. 3

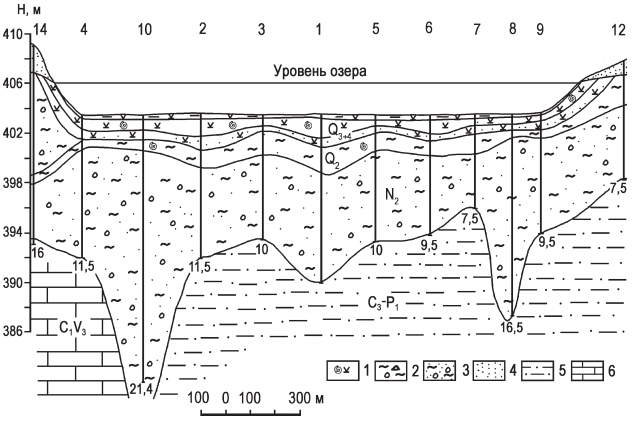

Рис. 5. Геологический разрез палеодолины Мулдаккульской озёрной котловины [Абдрахманов, Попов, 2010]

1 — сапропель с фауной, 2 — глины с галькой и обломками пород, 3 — глинистые пески с галькой, 4 — пески, 5 — песчаники, гравелиты, конгломераты; 6 — известняки

Fig. 5. Geological section of the paleovalley of the Muldakkul lake basin [Abdrakhmanov, Popov, 2010]

1 — sapropel with fauna, 2 — clays with pebbles and fragments of rocks, 3 — clay sands with pebbles, 4 — sands, 5 — sandstones, gravelites, conglomerates; 6 — limestones

роды долины рек, ныне погребенные под более молодыми неогеново-четвертичными осадками [Рождественский, 1971].

Основной водной артерией Южного Предуралья в плиоцене являлась р. Палео-Белая (см. рис. 1). Она вместе со своими притоками р.р. Палео-Ик, Палео-Дема, Палео-Уфа и другими создала сильно расчлененный эрозионно-денудационный рельеф, сложенный породами пермского и каменноугольного возрастов. Осадки, выполняющие палеодолины, относятся к кинельскому (Nkn) надгоризонту (верхний миоцен-плиоцен). Они представлены, в основном, базальными аллювиальными песчано-галечниковыми отложениями, в верхней части — алевритистыми глинами с прослоями песков, что является показателем подтопления речных долин, стабилизации и поднятия базиса эрозии. Общая мощность кинельских отложений в осевой, наиболее глубокой части палеодолины достигает 200 м, а в прибортовых разрезах сокращается до первых десятков метров и метров. Перекрыт кинельский надгоризонт морскими и озерно-лиманными отложениями (Qgl-E) Акчагыльского моря, а также континентальными четвертичными осадками.

Неотектогенез в Урало-Поволжье явился первопричиной 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, выполненные 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 (брахиантиклиналям). В большинстве случаев эти структуры хорошо выряжены и в современном рельефе, что указывает на активность неотектонических процессов.

Долина Палео-Белой в морфологическом отношении, по геологическому строению и гидрогеологическим условиям может быть разделена на 3 части: нижнее течение (между долинами Палео-Уфы и Палео-Камы), среднее течение (от долины р. Палео-Уфа 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. 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 2 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 составляет более 100 м. Выполняющие древнюю долину кинельские отложения в нижнем течении имеют максимальную мощность (до 150–170 м). Контур долины палеореки имеет сложные очертания: русло ее сильно меандрирует, ширина долины в местах расширений достигает 10–15 км, а сужений уменьшается до 2–3 км.

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 каменной соли, залегающей в виде включений, прослоев и линз в карбонатно-сульфатной толще P_1k. Соль в полосе 2–5 км вдоль русла палеодолины оказалась полностью выщелоченной. 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 Предуральского 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 размывом залегает на разных кинельских горизонтах (рис. 6). Абсолютные отметки русла увеличиваются вверх по долине и в районе г. Стерлитамак достигают +40 м. Глубина вреза палеодолины несколько снижается, как 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.

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 соответствующего его темпу эрозии, всегда более узкие, чем те, которые развиты на относительно стабильных, а тем более опускающихся участках. Именно с этим фактором надо связывать расширение 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. 6).

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 абсолютными отметками 300–450 м, в тектоническом отношении отвечающему Башкирскому своду. В южной части Уфимского плато Палео-Уфы дренирует карбонатную толщу (200–250 м) нижнепермского (артинского) возраста, а местами экранирует потоки подземных вод. Современная и древняя долины определяют формирование подземных и поверхностных карстовых форм. Первые представлены кавернами, полостями, иногда небольшими (длина до 15 м) пещерами, которые переходят в наклонные каналы с поперечным сечением 1.0–1.5 м, ориентированные вдоль бортов Палео-Уфы и связанные с трещинами бортового отпора. Среди поверхностных форм карста наиболее распространены воронки и суходолы. В бассейне р. Яман-Елга (левый приток р. Уфа) при среднегодовом модуле подземного стока 15.3–16.2 дм^3/с × км^2 величина карстовой денудации составляет 38–45 мкм/год. Это в 3 раза выше, чем в северной части плато, что объясняется различиями во внутренней закарстованности пород.

В створе Павловского водохранилища (см. рис. 3) ширина долины не превышает 300 м, мощность кинельских осадков в осевой части около 80 м, в том числе 20 м базального песчано-гравийно-галечникового горизонта. Вдоль бортов палеодолины артинские известняки подверглись интенсивному карстовому процессу. В них, а также в самом базальном кинельском горизонте образовались концентрированные потоки, аккумулирующие огромные ресурсы пресных вод. Об этом можно судить по одному из крупнейших в мире источнику «Красный Ключ» (дебит 6–52 м^3/с) и другим восходящим источникам, которые возникли в результате подпруживающего влияния палеодолины Уфы. По составу они гидрокарбонатные кальциевые с минерализацией (М) 0.2–0.3 г/дм^3, очень хорошего питьевого качества. Судя по величине М и концентрации HCO_3^- (150–200 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 (20–30 мг/дм^3), регламентирующего растворимость известняков, короткие пути движения (*n*-10*n* км) карстовых вод и время нахождения воды в породе (10*n*-100*n* сут).

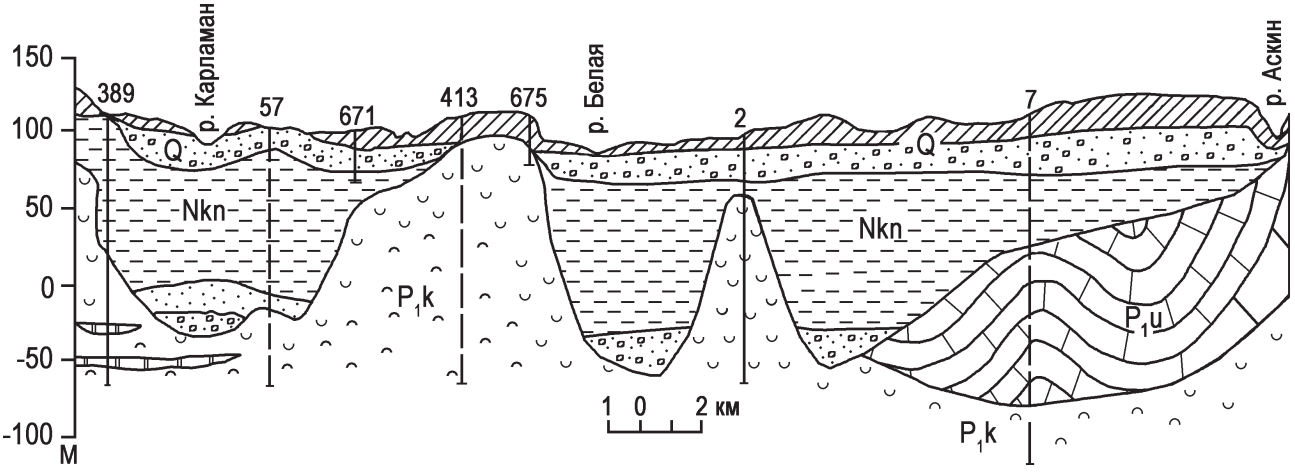

Рис. 6. Долина р. Палео-Белая в среднем течении (устье р.Сим) [Абдрахманов, Попов, 2017]
Условные обозначения см. на рисунке 3

Fig. 6. The valley of the Paleo-Belaya River in the middle reaches (the mouth of the river Sim) [Abdrakhmanov, Popov, 2017]
See the legend in Fig. 3

Экранирующее влияние неогеновых палеодолинн, 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/дм^3) с дебитом до 200 л/с, а в долине р. Палео-Танып — группа сульфатных кальциевых минеральных источников (М 2.5 г/дм^3) 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 Палео-Белая протекала в субширотном направлении в глубоком (300–500 м) узком каньоне с обрывистыми склонами, сложенными каменноугольными и более древними породами. Судя по створам Юмагузинского и Нугушского водохранилищ (см. рис. 4), 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 ширина антецедентно развивающейся долины, прорезающей поперек передовые хребты западного склона Южного Урала, сужается до 0.5–0.7 км; дно ее находится на наиболее высоких абсолютных отметках (+135…+150 м).

Таковы данные о масштабах эрозионного расчленения рельефа Южного Предуралья в раннем плиоцене. Оно было значительно более интенсивным, чем сейчас, но неравномерно распределенным по площади. Глубинная эрозия локализовалась в относительно узких, линейно вытянутых и изогнутых участках, разделенных участками 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.

2.2 Техногенная активность карстового процесса

Помимо комплекса естественноисторических факторов, контролирующих развитие карстового процесса (литология пород, тектоника, гидрогеологические особенности и пр.), его масштабы и характер зависят от хозяйственной деятельности человека. Рост городов и освоение территорий неизбежно 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

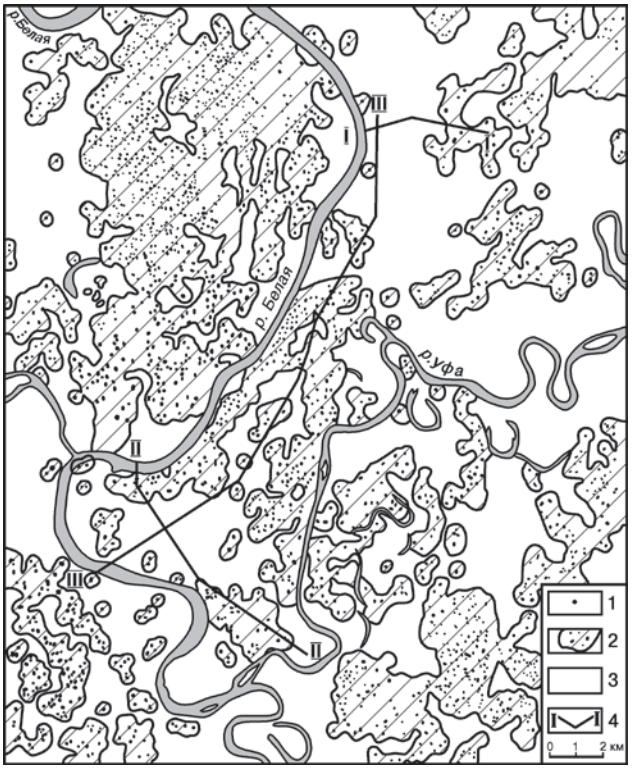

Рис. 7. Карта закарстованности территории г. Уфы [Абдрахманов, Мартин, 1993]

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

Fig. 7. Map of karst on the territory of Ufa [Abdrakhmanov, Martin, 1993]

1 — karst sinkholes (territories unstable and very unstable for construction); 2 — territories around the sinkholes (insufficiently stable and somewhat reduced stability); 3 — territories outside the karst fields (relatively stable); 4 — hydrogeological section line

грунтов, гидрогеодинамических и гидрогеохимических условий. В конечном итоге, все это часто вызывает активизацию опасных геологических процессов, и в особенности — карстовых и суффозионных. К числу факторов, способствующих развитию карстово-суффозионных процессов, относятся: 1) нарушение водоупорных свойств покровных отложений; 2) возникновение техногенных источников формирования подземных вод; 3) динамическое воздействие производственно-технологических процессов; 4) загрязнение атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод агрессивными выбросами промышленных предприятий [Абдрахманов, Мартин, 1993].

Техногенная активность сульфатного и сульфатно-карбонатного карста наиболее выражена в пределах промышленно-*урбанизированных территорий Бельско-Уфимского («Уфимский полуостров») междуречья*. Уфа является одной из крупных промышленно-урбанизированных агломераций России. Карст на территории города связан с гипсами кунгурского и загипсованными породами уфимского возраста (рис. 7, 8). 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 неогеново-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

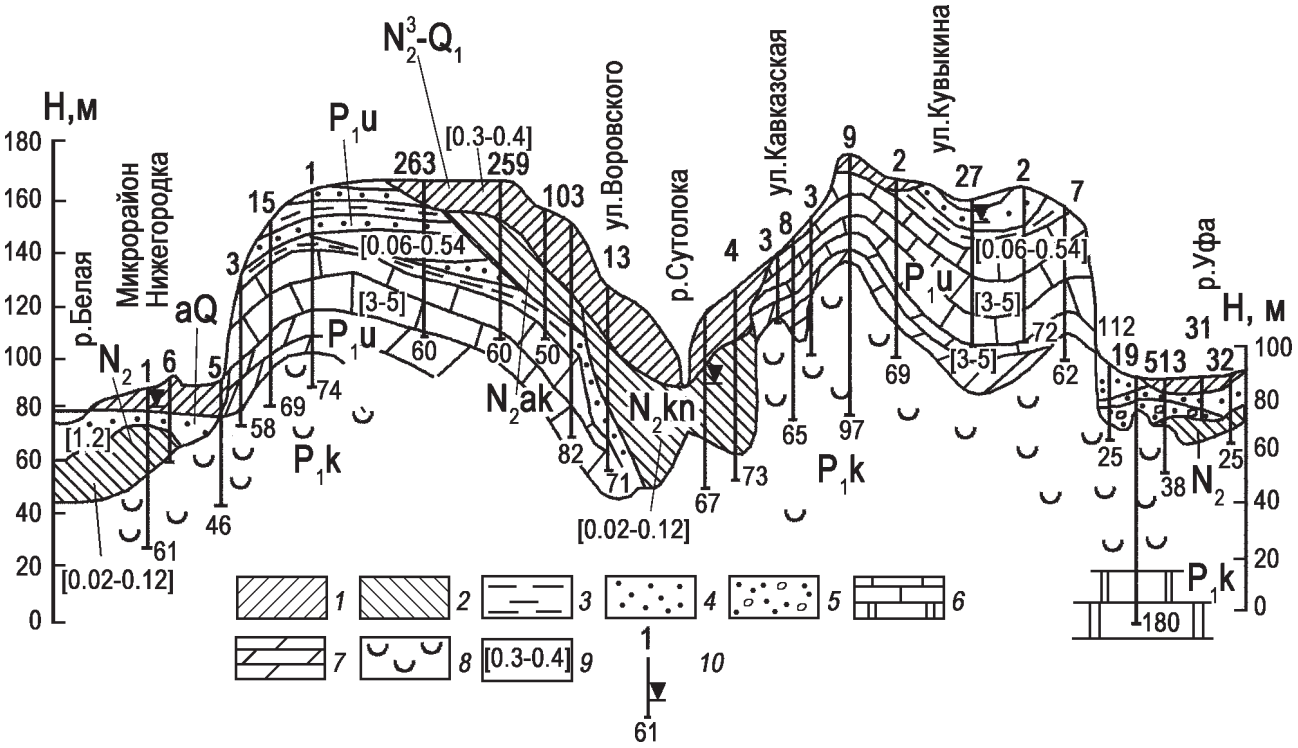

Рис. 8. Гидрогеологический разрез Бельско-Уфимского междуречья (южная часть «Уфимского полуострова») по линии II-II [Абдрахманов, Мартин, 1993]

1–8 — водоносные породы: 1 — суглинки, 2 — глины, 3 — глины аргиллитоподобные, алевролиты, 4 — пески, песчаники, 5 — песчано-галечниковые отложения, 6 — известняки, доломиты, 7 — мергели, 8 — гипсы; 9 — коэффициент фильтрации пород (м/сут); 10 — скважина: наверху — номер по первоисточнику, внизу — глубина скважины, справа — штрихами показан уровень грунтовых вод

Fig. 8. Hydrogeological section across Belaya-Ufa interfluve (the southern part of the «Ufa Peninsula») along the line II-II [Abdrakhmanov, Martin, 1993]

1–8 — water-bearing rocks: 1 — loam, 2 — clay, 3 — argillite-like clays, aleurolites, 4 — sands, sandstones, 5 — sand-and-gravel deposits, 6 — limestone, dolomite, 7 — marl, 8 — gypsum; 9 — rock filtration coefficient (m/day); 10 — well: in the upper part — number for the source, below — the depth of the well, to the right the groundwater level is shown

в пределах современной долины реки Сутолока достигает 800–950 м. На Уфа-Бельском междуречье отмечены древние карстово-эрозионные котловины диаметром до 750–800 м, выполненные глинистыми осадками неогеново-четвертичного возраста.

На склонах древних и современных долин породы сильно выветрены и разбиты трещинами бокового отпора, что способствует активному развитию карста. После того как древняя эрозионная сеть была погребена под толщей преимущественно глинистых осадков (в период акчагыльской ингрессии моря), дренирующая 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 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 процесс суффозии.

Следствием этого является образование карстово-суффозионных оседаний со средней скоростью 1–2 мм/год и даже крупных карстовых провалов. В настоящее время такой процесс продолжается. Недоучет его привел к тому, что многие здания и сооружения в Уфе оказались построенными в прибортовых частях палеодолин и других древних эрозионных врезов, т. е. на потенциально опасных участках [Камалов, Барышников, 2019].

Активному развитию карста способствует и гидродинамическая обстановка. На Бельско-Уфимском междуречье наблюдается обратное соотношение уровней этажно расположенных горизонтов с глубиной (уменьшение их абсолютных отметок), что является необходимым условием возникновения нисходящих межпластовых перетоков подземных вод. Градиент фильтрации здесь в основном имеет положительную ($I > 0$) величину (за исключением долины р. Шугуровки). Такие условия, вместе с интенсивной трещиноватостью пород (особенно на склонах долин), способствуют переводу агрессивных по отношению к гипсоносным породам (дефицит насыщения достигает 1.7–2.1 г/дм^3) 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 возникают.

Молодые и «старые» карстовые воронки обычно образуют скопления — карстовые поля. В г. Уфа и ее окрестностях установлено 63 карстовых поля, в пределах которых плотность воронок от 10 до 100 на 1 км^2, иногда более. Воронки, увеличиваясь в размерах, 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. За последние 100 лет здесь зафиксировано 318 карстовых провалов. В среднем происходит 3 провала в год. Обычно они образуются весной после снеготаяния и осенью в период длительных дождей.

Одним из наиболее существенных техногенных факторов активизации карста являются 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 % [Абдрахманов, 1993]. 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 процессов [Абдрахманов, Мартин, 1993].

Интенсивное хозяйственное освоение (разработка нефтяных месторождений) территории вызвало изменение гидродинамического и гидрохимического режимов водоносных горизонтов и, как следствие, усиление карстово-суффозионных процессов и развитие техногенного его типа.

Как известно, химический состав и минерализация инфильтрующихся вод относятся к числу основных факторов, определяющих интенсивность растворения и выщелачивания карстующихся пород. Экспериментальными исследованиями установлено, что растворимость $CaSO_4$ и $CaCO_3$ значительно меняется в присутствии различных солей и при возрастании в воде содержания NaCl до 21 г/дм^3, растворимость карбонатных пород достигает 0.14 г/дм^3. В различной степени стимулируют растворимость карбонатов $MgSO_4$, $NaSO_4$ и $MgCl_2$ [Абдрахманов, 2019; Абдрахманов и др., 2021].

До начала интенсивного *освоения* Шкаповского и Туймазинского нефтяных месторождений подземные воды имели гидрокарбонатный кальциевый и гидрокарбонатный магниево-кальциевый состав с минерализацией 0.5–0.7 г/дм^3. Наиболее существенные изменения гидрогеологических условий произошли в результате разведки и эксплуатации нефтяных месторождений, при которых отмечалось проникновение пластовых рассолов с минерализацией до 250–270 г/дм^3 NaCl, $CaCl_2$ состава в верхние водоносные горизонты. Вследствие этого утратились естественные связи ионно-солевого состава подземных вод с литолого-минералогическими особенностями водовмещающей среды, что привело к появлению новых, ранее не свойственных отложениям гидрохимических типов. Минерализация подземных вод местами достигла 5–10 и даже 20–28 г/дм^3 (рис. 9, 10); одновременно воды стали хлоридными натриевыми и хлоридными кальциево-натриевыми. Эти растворы, обладая высокой агрессивностью к известнякам, вызвали значительное усиление карстовых процессов [Абдрахманов, 2019].

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

Режимными наблюдениями установлена тесная корреляционная связь изменения общей минерализации, химического состава подземных вод зоны активного водообмена в районах воздействия нефтепромысловых рассолов и количеством атмосферных осадков (по данным метеостанции Аксаково) (рис. 11 и 12). Увеличение количества осадков в данной местности приводит к снижению общей минерализации и изменению химического состава подземных вод. Как видно из наблюдений, процесс восстановления зоны пресных подземных вод после техногенного воздействия длительный, измеряется несколькими десятками, а может быть и сотнями лет.

ГИС-технологии в оценке современной активности карста

Геоинформационные системы (ГИС) предназначены для картирования и анализа пространственных объектов, они объединяют традиционные операции при работе с базами данных, такими как запросы и статистический анализ, с преимуществами полноценной визуализации и географического (пространственного) анализа, которые предоставляет традиционная географическая карта [Дурнаева, 2020; Смирнов и др., 2020].

ГИС-система дает возможность комплексного использования геологической информации, обеспечивая системно-иерархический подход к выделению на картах объектов различного геологического содержания, их ранжирование и корреляция между собой. Она также позволяет избежать перегруженности информацией за счет отображения данных на разных слоях ГИС-проекта. Оценка интенсивности и активности карстовых проявлений, их развития, осуществляется преимущественно по формам проявления карста на поверхности через различные количественные показатели: плотность карстовых форм на единицу площади, пораженность территории поверхностными карстопроявлениями по типам карста, формам рельефа, неотектоническим структурам и другим таксономическим единицам его районирования. Эти количественные показатели достаточно легко и точно можно определить посредством ГИС.

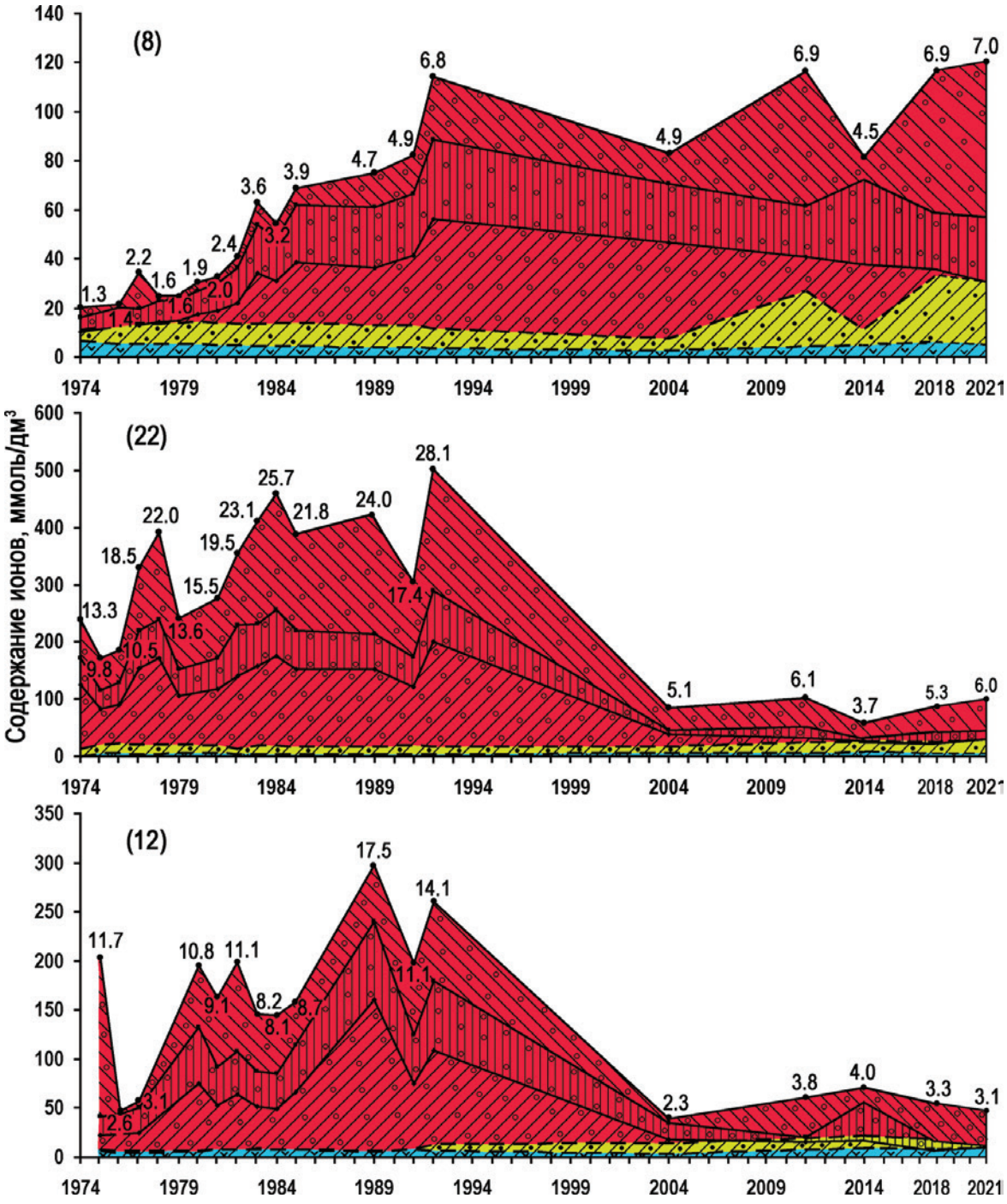

Рис. 9. Мониторинг химического состава и минерализации подземных вод в зоне развития сульфатных пород в пределах Шкаповского нефтяного месторождения

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

Fig. 9. Monitoring of the chemical composition and mineralization of groundwater in the zone of development of sulfate rocks within the Shkapovskoe oil field

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

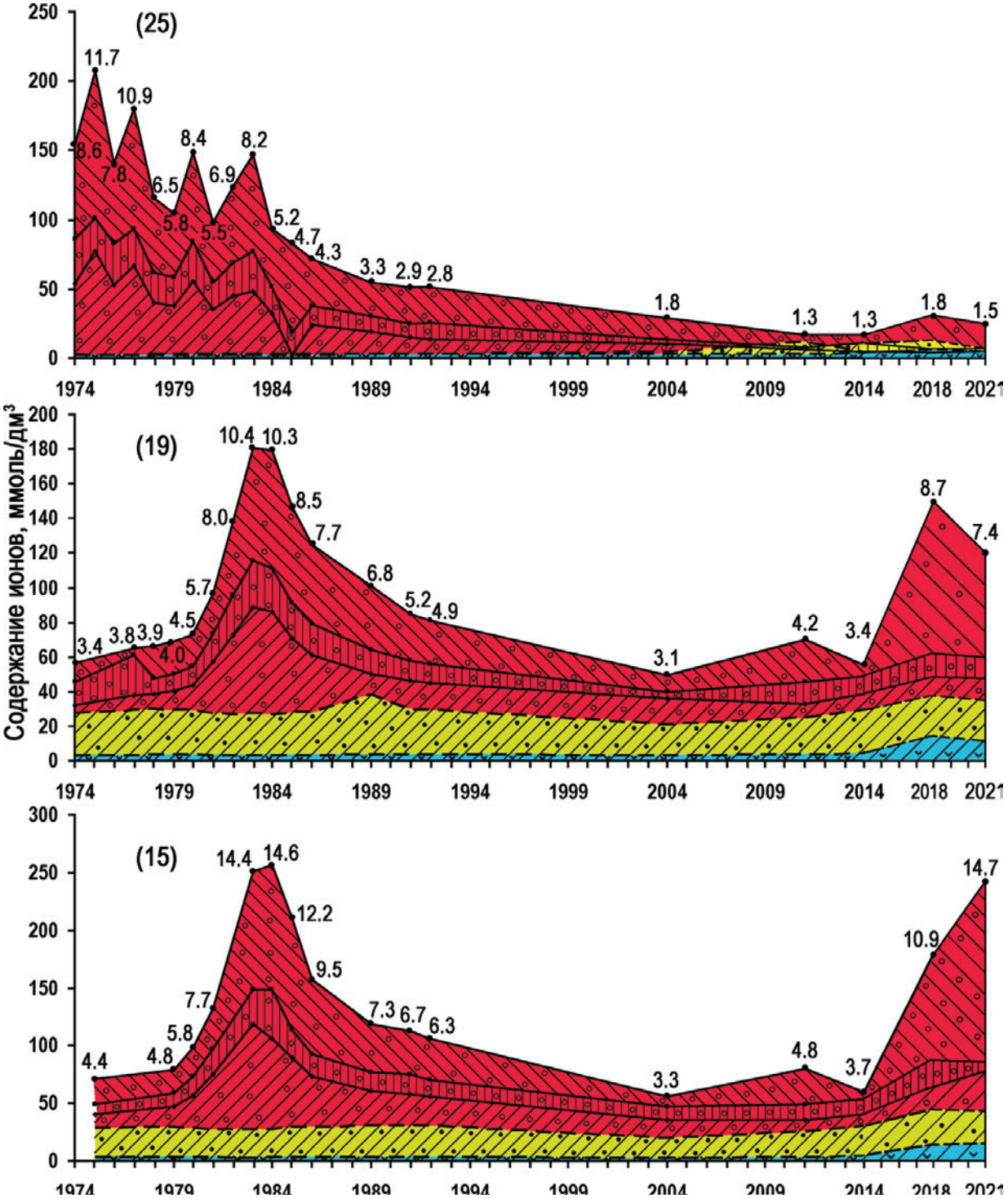

Рис. 10. Мониторинг химического состава и минерализации подземных вод в зоне развития сульфатных пород в пределах Туймазинского нефтяного месторождения

Условные обозначения см. на рисунке 10

Fig. 10. Monitoring of the chemical composition and mineralization of groundwater in the zone of development of sulfate rocks within the Tuymazinskoe oil field

See the legend in Figure 3

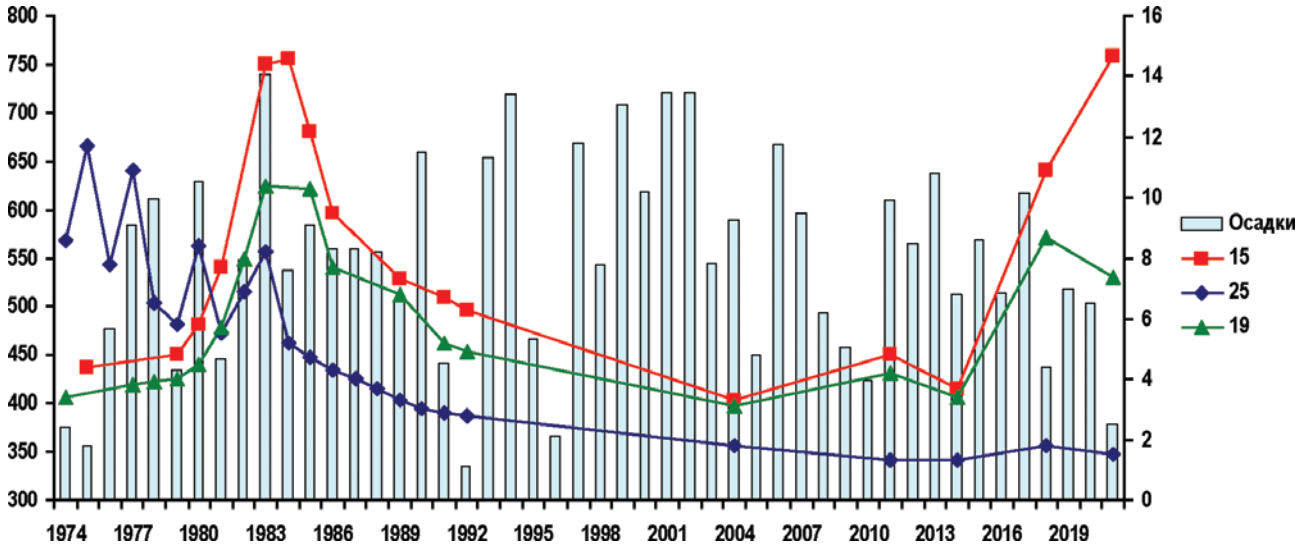

Рис. 11. График зависимости минерализации подземных вод (г/дм^3) от количества осадков (мм) на территории Шкаповского месторождения

Fig. 11. Graph of the dependence of groundwater mineralization (g/dm^3) on the amount of precipitation (mm) on the territory of the Shkapovskoe oil field

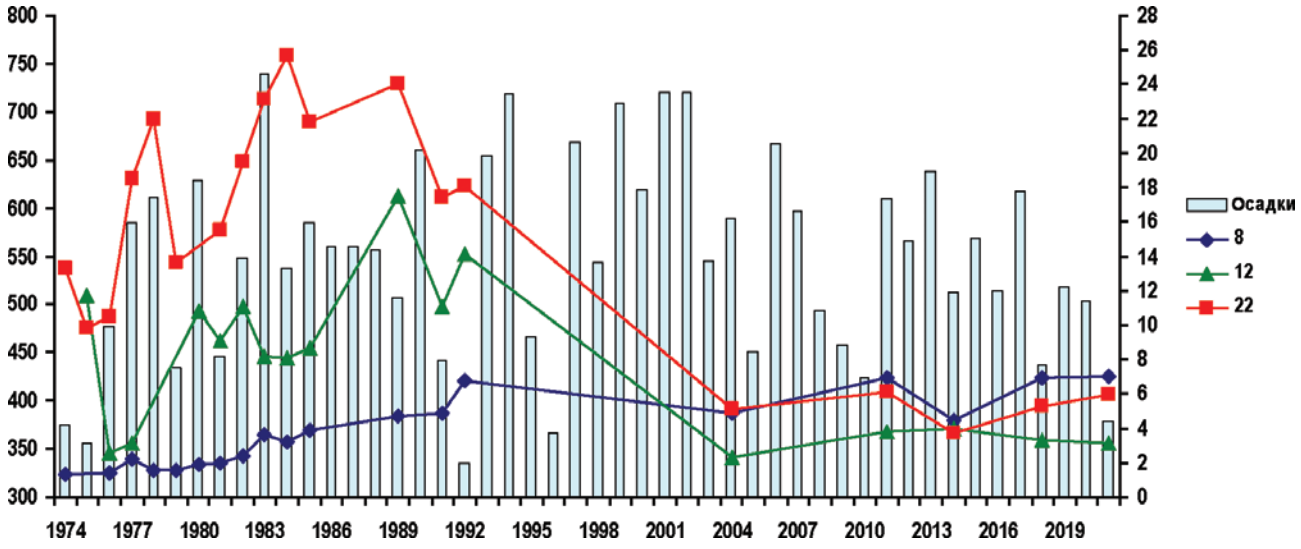

Рис. 12. График зависимости минерализации подземных вод (г/дм^3) от количества осадков (мм) на территории Туймазинского месторождения

Fig. 12. Graph of the dependence of groundwater mineralization (g/dm^3) on the amount of precipitation (mm) on the territory of the Tuymazinskoe oil field

Для создания ГИС-проекта «Карст Южного Урала и Предуралья» выбран программный продукт ГИС «Карта 2011», выпускаемый ЗАО Конструкторское бюро «Панорама» (г. Москва) – ведущей российской компанией в области разработки геоинформационных систем. Возможности программного продукта позволяют учитывать при создании проекта особенности различных объектов карты, например, разделять типы карста по составу карстующихся пород, степени их перекрытости некарстующимися породами, рельефу и др. Масштаб ГИС-проекта 1:500000 ГИС проекта позволяет отображать детальное развитие карста на региональном уровне.). Такие работы в Институте геологии УФИЦ РАН выполнены впервые [Дурнаева и др., 2019, 2021].

Основой составления ГИС-проекта является монография «Карст Башкортостана» [18], Геологическая карта Урала масштаба 1:500000 М, 1979, а также фондовые материалы гидрогеологических съемок масштаба 1:200000 (авторы Алексеев В. А., Андрианов Г. М., Верзаков М. С., Камышников А. Н., Муртазин А. Г., Сиднев А. В., Синицын И. М., Короткин М. С., Толстунова Н. Н., Шевченко А. М., Ткачев В. Ф., Хузин М. М., Чалов Ю. Н. и др.), выполненные в период 1951–2020 гг. При составлении ГИС-проекта также использованы данные съемки экзогенных геологических процессов в Республике Башкортостан 1980–1994 гг. масштаба 1:200000 (Ткачев, Смирнов, Прошкин, 1981 г., Смирнов, Ткачев, 1986 г., Смирнов и др. 1989 г., 1994 г.).

База данных ГИС-проект «Карст Южного Урала и Предуралья» (рис. 13) содержит геопространственные данные о проявлениях карстового процесса в растворимых породах на территории Южного Урала и Предуралья. Управление базой данных ГИС-проект «Карст Южного Урала и Предуралья» осуществляется при помощи классификатора «Карст» (рис. 14). Разработанный классификатор является универсальным для разработки ГИС-проектов на территориях, подверженных карстовому процессу.

Заключение

В процессе выполнения работ получены следующие результаты:

- выяснено значение палеодолин в формировании и развитии опасных геологических процессов на Южном Урале и в Предуралье;
- установлена тесная корреляционная связь между изменением общей минерализации, химического

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2021621437

ГИС-проект «Карст Южного Урала и Предуралья»

Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук (RU)

Авторы: Дурнаева Вера Николаевна (RU), Абдрахманов Рафил Фазылович (RU), Полева Александра Олеговна (RU), Бакиева Альбина Радиковна (RU)

Заявка № 2021621288
Дата поступления 21 июня 2021 г.
Дата государственной регистрации в Реестре баз данных 01 июля 2021 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности Г.П. Ивлиев

Рис. 13. Свидетельство о государственной регистрации базы данных «Карст Южного Урала и Предуралья»

Fig. 13. Certificate of state registration of the database «Karst of the Southern Urals and the Cis-Urals»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2019665275

Карст

Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук (RU)

Авторы: Дурнаева Вера Николаевна (RU), Абдрахманов Рафил Фазылович (RU), Смирнов Александр Ильич (RU), Соколов Юрий Викторович (RU), Полева Александра Олеговна (RU)

Заявка № 2019664271
Дата поступления 12 ноября 2019 г.
Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 21 ноября 2019 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности Г.П. Ивлиев

Рис. 14. Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ «Карст»

Fig. 14. Certificate of state registration of the computer program «Karst»

состава подземных вод зоны активного водообмена в районах воздействия нефтепромысловых рассолов и количеством атмосферных осадков;
- установлена техногенная активизация карстовых процессов, которая наиболее интенсивно развивается на промышленно-урбанизированных территориях и в районах нефтедобывающего техногенеза.

Созданный ГИС-проект «Карст Южного Урала и Предуралья» имеет системно-иерархический поход к отображению на карте геологических объектов (карстовых форм), позволяет оценивать современную интенсивность проявления и активность развития карста, оперативно вносить изменения в созданную базу данных, делает возможным мониторинг развития карстового процесса за счет точной привязки разновременных данных.

Список литературы:

Абдрахманов Р. Ф. Техногенез в подземной гидросфере Предуралья / УНЦ РАН. Уфа, 1993. 208 с.

Абдрахманов Р. Ф. Гидрогеоэкология Башкортостана. Уфа. Информреклама. 2005. 344 с.

Абдрахманов Р. Ф. Гидрогеохимия урбанизированных территорий Южного Предуралья // Геохимия. 2019. Т. 64, № 7. С. 733–741.

Абдрахманов Р. Ф. Значение палеодолин в активизации карста на территории Уфы // Гидрогеология и карстоведение: межвузовский сборник научных трудов / Пермский государственный национальный университет и др. Пермь, 2020. Вып. 20. С. 154–159.

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

Абдрахманов Р. Ф., Дурнаева В. Н., Смирнов А. И. Использование геоинформационных технологий в природообустройстве карстоопасных районов Южного Предуралья // Природообустройство, 2018. № 1. С. 64–68.

Абдрахманов Р. Ф., Мартин В. И. Гидрогеоэкология г. Уфы / УНЦ РАН. Уфа, 1993. 44 с.

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

Абдрахманов Р. Ф., Полева А. О., Дурнаева В. Н. Гидрогеоэкологические проблемы в среднем течении р. Белой / Вестник АН РБ.Том 40, № 3 (103). 2021. С. 43–51.

Абдрахманов Р. Ф., Попов В. Г. Гидрогеология Южного Предуралья / БФАН СССР. Уфа, 1985. 124 с.

Абдрахманов Р. Ф, Попов В. Г. О кластокарсте Башкирского Предуралья // Проблемы псевдокарста: Тезисы докладов совещания. Пермь, 1992. С. 18–20.

Абдрахманов Р. Ф., Попов В. Г. Геохимия и формирование подземных вод Южного Урала. Уфа: Гилем, 2010. 420 с.

Абдрахманов Р. Ф., Попов В. Г. Связь карста с неогеновыми долинами системы Палео-Белой в Южном Предуралье // Геоморфология. 2017. № 3. С. 48–58.

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

Дурнаева В. Н. Структура ГИС «Карст Южного Урала и Предуралья» // Сборник материалов международной научно-практической конференции «Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ» 22–24 октября 2020 г. Санкт-Петербург: РГГМУ 2020. С. 599–600.

Дурнаева В. Н., Абдрахманов Р. Ф., Смирнов А. И., Соколов Ю. В., Полева А. О. Карст. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019665275 от 21 ноября 2019 г. 16. Дурнаева В. Н., Абдрахманов Р. Ф., Полева А. О., Бакиева А. Р. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021621437 ГИС-проект «Карст Южного Урала и Предуралья» от 01 июля 2021 г. 17. Камалов В. Г., Барышников В. И. Опасные геологические процессы на территории Уфимского «полуострова» (Инженерная геодинамика). Уфа: Информреклама, 2019. 240 с.

Лыкошин А. Г. Карст и гидротехническое строительство. М.: Стройиздат, 1968. 183 с.

Рождественский А. П. Новейшая тектоника и развитие рельефа Южного Приуралья. М.: Наука. 1971. 304 с.

Смирнов А. И., Абдрахманов Р. Ф., Дурнаева В. Н. Пораженность рельефа Южного Предуралья формами сульфатного карста // Геоморфология. 2020. № 2. С. 74–84.

References:

Abdrakhmanov R. F. Tekhnogenez v podzemnoy gidrosfere Predural'ya [Technogenesis in the underground hydrosphere of the Urals]/ USC RAS Press. Ufa, 1993. 208 p. (In Russian).

Abdrakhmanov R. F. Gidrogeoekologiya Bashkortostana [Hydrogeoecology of Bashkortostan]. Ufa: Informreklama Press, 2005. 344 p. (In Russian).

Abdrakhmanov R. F. Hydrogeochemistry of urban territories in the southern fore-Ural areas // Geochemistry International. 2019. T. 57. No. 7. P. 812–820. (In Russian).

Abdrahmanov R. F. Znachenie paleodolin v aktivizacii karsta na territorii g. Ufy [The value of paleovalleys in the activation of karst on the territory of Ufa city] // Gidrogeologiya i karstovedenie: mezhvuzovskii sbornik nauchnyh trudov [Hydrogeology and Karst Studies: Interuniversity Collection of Scientific Papers] / PGNIU and other. Perm', 2020. Ed. 20. P. 154–159. (In Russian).

Abdrakhmanov R. F., Durnaeva V. N., Poleva A. O., Bakieva A. R. Assessment of the current activity of the carbonate karst setting geological and hydrogeological features of its development during the Neogene-Quaternary time. Geologicheskii vestnik. 2021. No. 1. P. 105–114. (In Russian).

Abdrakhmanov R. F., Durnaeva V. N., Smirnov A. I. Ispol'zovanie geoinformatsionnykh tekhnologii v prirodoobustroistve karstoopasnykh raionov Yuzhnogo Predural'ya [Usage of geoinformation technologies in environmental engineering of karst dangerous regions of the Southern Urals]// Prirodoobustroistvo, 2018. No 1. P. 64–68. (In Russian).

Abdrakhmanov R. F., Martin V. I. Gidrogeoekologiya g. Ufy [Hydrogeoecology of Ufa city]. Ufa Science centre RAN Press. Ufa, 1993. 44 p. (In Russian).

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

Abdrakhmanov R. F., Poleva A. O., Durnaeva V. N. [Hydrogeoecological Problems in the Middle Course of the Belaya River] / Herald of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan. No 3 (103). P. 43–51. (In Russian).

Abdrakhmanov R. F., Popov V. G. Gidrogeologiya Yuzhnogo Preduralya [Hydrogeology of the Southern Cis-Urals]. Ufa: BFAN SSSR Press, 1985. 124 p. (In Russian).

Abdrakhmanov R. F, Popov V. G. O klastokarste Bashkirskogo Predural'ya [About the Klastokarst of the Bashkir Urals] // Problemy psevdokarsta: Tezisy dokladov soveshchaniya [Problems of Pseudokarst: Abstracts of the Meeting]. Perm', 1992. P. 18–20. (In Russian).

Abdrakhmanov R. F., Popov V. G. Geokhimiya i formirovanie podzemnykh vod Yuzhnogo Urala [Geochemistry and Groundwater Formation in the South Urals]. Ufa: Gilem Press, 2010. 420 p. (In Russian).

Abdrakhmanov R. F., Popov V. G. Svyaz' karsta s neogenovymi dolinami sistemy Paleo-Beloy v Yuzhnom Predural'e [Relations between karst and the neogene Paleo-Belaya valley network, Southern Cis-Urals region]. // Geomorfologiya. 2017. No. 3. P. 48–59 (in Russian).

Abdrahmanov R. F., Popov, V. G., Smirnov A. I. Rasprostranenie karsta na territo-rii Bashkortostana i ego znachenie dlya praktiki [Distribution of karst in Bashkortostan and its importance for practice] // Herald of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan. 2016. No. 4. P. 81–90. (In Russian).

Durnaeva V. N. Struktura GIS «Karst Yuzhnogo Urala i Predural'ya» (Structure of GIS "Karst of the Southern Urals and Cis-Urals")// Sbornik materialov mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Sovremennye problemy gidrometeorologii i monitoringa okruzhayushchei sredy na prostranstve SNG» [Collection of materials of the international scientific-practical conference "Modern problems of hydrometeorology and environmental monitoring in the UIS space"] 22–24 oktyabrya 2020 g. — Sankt-Peterburg: RGGMU. 2020. P. 599–600. (In Russian).

Durnaeva V. N., Abdrakhmanov R. F., Smirnov A. I., Sokolov Yu. V., Poleva A. O. Karst. Certificate of state registration of a computer program No. 2019665275 dated November 21, 2019.

Durnaeva V. N., Abdrakhmanov R. F., Poleva A. O., Bakieva A. R. Certificate of state registration of the database No. 2021621437 GIS-project "Karst of the Southern Urals and Cis-Urals" dated July 01, 2021.

Kamalov V. G., Baryshnikov V. I. Opasnye geologicheskie protsessy na territorii Ufimskogo «poluostrova» (Inzhenernaya geodinamika) [Hazardous geological processes on the territory of the Ufa "peninsula" (Engineering geodynamics)]. Ufa: Informreklama Press, 2019. 240 p. (in Russian).

Lykoshin A. G. Karst i gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo [Karst and hydraulic engineering]. M.: Stroiizdat Press, 1968. 183 p. (In Russian).

Rozhdestvenskii A. P. Noveishaya tektonika i razvitie rel'efa Yuzhnogo Priural'ya [New tectonic relief and the development of the Southern Cis-Urals]. Moscow: Nauka Press, 1971. 304 p. (In Russian).

Smirnov A. I., Abdrakhmanov R. F., Durnaeva V. N. Porazhennost' rel'efa Yuzhnogo Predural'ya formami sul'fatnogo karsta [Sulfate karst landforms in the Southern Cis-Urals] // Geomorfologiya. 2020. No 2. P. 74–84. (In Russian).

Сведения об авторах:

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

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

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

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

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

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

About the authors:

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

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

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

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

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

Nosareva Svetlana Pavlovna, candidate of Geological and Mineralogical Sciences? Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: hydro@ufaras.ru

Статья поступила в редакцию 26.01.2022; одобрена после рецензирования 10.02.2022; принята к публикации 23.03.2022

The article was submitted 26.01.2022; approved after reviewing 10.02.2022; accepted for publication 23.03.2022