
ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

УДК 551.3 (470.57)

НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТИПЫ КАРСТА ЮЖНОГО УРАЛА И ПРЕДУРАЛЬЯ

© 2023 г. А. И. Смирнов

*Институт геологии Уфимского федерального исследовательского Центра Российской академии наук
ул. Карла Маркса, 16/2, Уфа, Республика Башкортостан, 450077 Россия*

E-mail: smalil@mail.ru

Поступила в редакцию 10.02.2023 г.

После доработки 30.03.2023 г.

Принята к публикации 14.04.2023 г.

“Нетрадиционные” типы карста — редко встречающиеся и ограниченные в развитии на рассматриваемой территории типы карста. Установлено, что наряду с широким распространением сульфатного и карбонатного карста в регионе ограниченно развит кластокарст, карст известковых туфов, сульфидный, соляной карст и карст в мраморах. Для каждого из этих типов карста по составу карстующихся пород определены условия и факторы их развития. Наименее распространен в рассматриваемом регионе карст известковых туфов и карст в мраморах, наиболее — кластокарст. Нетрадиционные типы карста имеют как положительное, так и отрицательное практическое значение. Карст известковых туфов является самым примечательным и уникальным проявлением редкого типа карста рассматриваемого региона, представленный комплексным памятником природы — “Урочище Шумиловский водопад”. Отрицательное воздействие кластокарста на объекты экономики и жизнедеятельность человека соизмеримо с воздействием самого распространенного и опасного в регионе сульфатного карста, что должно учитываться при проектировании и строительстве новых зданий и инженерных сооружений. Соляной карст связан с искусственным выщелачиванием поваренной соли с целью ее добычи для производства кальцинированной соды, а сформированные при этом пустоты эксплуатируются как подземные хранилища нефтепродуктов. Поверхностные проявления сульфидного карста могут являться поисковым признаком новых медно-колчеданных месторождений.

Ключевые слова: кластокарст, карст известковых туфов, сульфидный карст, соляной карст, Республика Башкортостан

DOI: 10.31857/S0869780923030104, **EDN:** WNEXSG

ВВЕДЕНИЕ

Наряду с широко распространенными на Южном Урале и в Предуралье сульфатным и карбонатным карстом, в регионе встречаются нетрадиционные его типы. Определяющими для их выделения являются редкая встречаемость и ограниченное распространение форм их проявлений. К ним автор относит: кластокарст, сульфидный карст, карст известковых туфов и карст в мраморах (рис. 1). К редкому типу карста рассматриваемого региона можно также отнести соляной карст, развивающийся в глубоких горизонтах недр (более 800 м) и не проявляющийся на поверхности.

Для каждого выделенного нетрадиционного типа карста установлены условия и определяющие факторы интенсивности распространения форм его проявления и активности развития. Ранее автором опубликованы статьи, характеризующие отдельные редкие типы карста региона [24–26], сводные же данные по ним с дополнением

особенностей развития нетрадиционных типов карста района исследований приводятся впервые.

Цель исследований — определение и сводная характеристика нетрадиционных типов карста Южного Урала и Предуралья, установление основных условий и факторов их распространения и активности развития, оценка научного и практического значения.

Исходными материалами для исследования послужили сведения, содержащиеся в производственных отчетах ОАО “Башкиргеология” по изучению экзогенных геологических процессов (ЭГП) на территории Республики Башкортостан (РБ) 1983–1994 гг. (отв. исп. А.И. Смирнов), актуализированные современными данными автора 2018–2022 гг. Автором из опубликованных, фоновых и архивных источников, а также собственных полевых исследований собраны и систематизированы сведения о современных карстовых

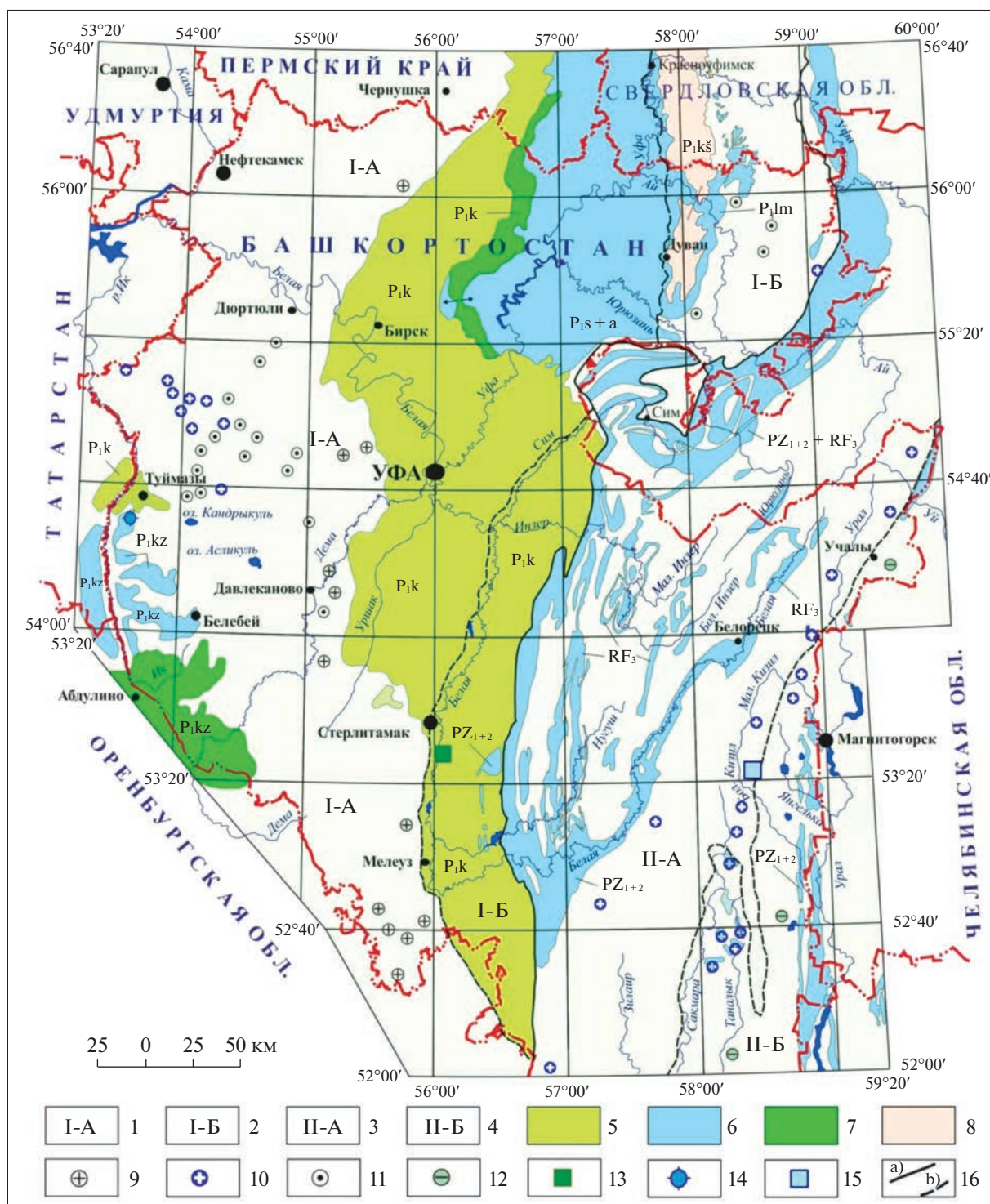


Рис. 1. Типы карста Южного Урала и Предуралья (по [19]). Карстовая страна Восточно-Европейской равнины (I): 1 – (I-A) равнинный карст в горизонтально и пологозалегающих породах Предуралья; 2 – (I-B) равнинный и предгорный карст Предуралья в пологозалегающих и слабо дислоцированных породах. Уральская карстовая страна (II): 3 – (II-A) горный и предгорный карст в дислоцированных и сильно дислоцированных образованиях Урала; 4 – (II-B) равнинный карст в складчато-глыбовых отложениях Зауралья. Типы карста (в соответствии с распространением карстопроявлений): 5 – сульфатный, 6 – карбонатный, 7 – сульфатно-карбонатный, 8 – кластокарст. Локальные проявления карста: 9 – сульфатного, 10 – карбонатного, 11 – кластокарста, 12 – сульфидного, 13 – соляного на Яр-Бишкадакском месторождении поваренной соли, 14 – известковых туфов (Шумиловский водопад), 15 – в мраморах (Амангильдинский карьер). 16 – границы: а) – карстовых стран, б) – типов карста по характеру рельефа и условиям залегания пород.

провалах Южного Урала и Предуралья в границах РБ за последние 100 лет [17].

Методы исследований — стандартные при изучении закарстованных территорий согласно действующим нормативным документам.

КЛАСТОКАРСТ

Термин кластокарст введен в научную литературу Г.А. Максимовичем для обозначения явлений химического и механического воздействия (растворение и суффозия) подземных вод на осадочные породы (глины, суглинки, лессы, песчаники, конгломераты с растворимым цементом), дезинтеграции сцементированного ими материала с последующим его механическим выносом (суффозией) [10, 12]. Этот термин прочно вошел в отечественное карстоведение и применяется, как и автором, так и всеми исследователями региона для обозначения процессов, сходных с карстовым [1–3, 12, 15–17, 18 и др.].

Несмотря на давно известное наличие кластокарста в рассматриваемом регионе, районы его распространения в общей схеме районирования карста определяются не однозначно. Как самостоятельный тип карста, он получил картографическое отображение лишь в 2005 г. в Атласе Республики Башкортостан [15, с. 60]. В нем содержится мелкомасштабная карта, на которой отражены районы распространения кластокарста на территории РБ и степень пораженности его поверхностными проявлениями.

Распространение кластокарста в общей схеме типизации карста Южного Урала и Предуралья [19] представлено на рис. 1, из которой следует, что кластокарст развит исключительно в карстовой стране Восточно-Европейской равнины и в сравнении с другими типами карста по составу карстующихся пород распространен относительно ограниченно. Наибольшие сплошные площади его развития характерны для северо-востока региона (I-Б) на Приайской равнине. На западе (I-А) он развит локально — на отдельных участках Прибельской равнины, а на остальной территории он не встречается.

Р.Ф. Абдрахманов с соавторами, в статьях в 2021 и 2022 г. [1, с. 107; 2, с. 5] приводят карту распространения карста на территории Южного Урала и Предуралья, на которой без пояснений отображают обширное площадное распространение кластокарста по левобережью рек Дема и Белая на широтах городов Дюртюли — Давлеканово по меридиану г. Белебей. В качестве обоснования авторы ссылаются на карту В.И. Мартина из монографии “Карст Башкортостана” 2002 г. [12, с. 164]. Однако в представленном в монографии виде эта карта отсутствует, а подавляющая часть контуров типов карста на ней и ее оформление

идентичны карте типов карста региона 2020 г. [17, с. 44].

На Приайской равнине кластокарст распространен в западной пологоволнистой ее части к востоку от Уфимского плато с карбонатным типом карста (по меридиану Дуван—Красноуфимск). Развит кластокарст здесь в терригенных отложениях кошелевской свиты иренского горизонта кунгурского яруса нижнего отдела пермской системы.

Кошелевская свита мощностью от 50 на юге до 250 м на севере сложена карбонатизированными и загипсованными песчаниками алевролитами и аргиллитами. Гипсоносные (с гнездами, линзами и прослоями гипса) полимиктовые и хорошо водопроницаемые песчаники занимают почти 50% от общего разреза свиты [24].

Максимальное распространение поверхностных карстопроявлений на площади кошелевской свиты зафиксировано на западной окраине Приайской равнины у подножья восточного склона Уфимского плато в 2–4 км юго-восточнее с. Дуван (между с. Улькунды и д. Пичугино). Представлены они преимущественно чаще- и конусообразными воронками, реже провалами. Поперечники их обычно составляют 5–30, реже 50 м, а глубина колеблется от 2 до 15 м. Нередко встречаются воронки со смежными бортами и карстовые поля (рис. 2), плотность воронок на которых достигает 100 штук на 1 км² [20].

К северу и югу от с. Дуван встречаемость карстовых воронок снижается, что обусловлено уменьшением в целом гипсоносности песчаников. Проявления кластокарста на поверхности встречаются ограниченно и связаны с линзами и прослоями гипса, но с достаточно высокой плотностью. Так, в 10 км к юг-юго-востоку от г. Красноуфимск плотность воронок с поперечником 5–70 м и глубиной до 15 м составляет 40–50 шт./км² [20]. В 30 км к югу от с. Дуван (на Юрюзано-Атавском междуречье) плотность воронок выше и составляет 50–100 шт./км². Воронки здесь большей частью округлые, диаметром 5–50 м и глубиной 3–10 м, чаще- и конусообразные, часть из которых с понорами и обнажениями гипсов [18].

За пределами распространения кошелевской свиты кластокарст на Приайской равнине развит по левобережью р. Ай и связан с загипсованными песчаниками сабанаковской и каранаевской свит кунгурского яруса нижней перми. Гипсоносность этих свит крайне неравномерна, поэтому поверхностные проявления кластокарста сформированы только на отдельных локальных участках. Воронки на них небольших размеров (поперечником до 25 м) и обычно встречаются одиночно. Карстовые поля редки, но плотность воронок на отдельных из них может достигать 110 шт./км².



Рис. 2. Поле кластокарстовых воронок на южной окраине с. Улькунды (Дуванский район РБ) [18].

На Прибельской равнине кластокарст, по данным автора, распространен локально на небольших участках в западной ее части в полосе шириной около 70 км между городами Туймазы и Дюртюли. В.И. Мартин по данным инженерно-геологических изысканий отмечает его развитие также на отдельных участках в г. Уфа [12].

Кластокарст на Прибельской равнине связан с песчано-глинистыми отложениями шешминского горизонта уфимского яруса нижнего отдела пермской системы. Сульфат и карбонат кальция вместе с глинистым цементирующим материалом присутствуют в породах горизонта в виде цемента. По данным государственной геологической съемки масштаба 1:200 000 содержание карбоната кальция в цементе терригенных пород достигает 40%, а сульфата кальция не превышает 10%, но в них содержатся маломощные (не более 3 м), невыдержанные по простиранию прослои и линзы гипса. В.И. Мартин отмечает развитие кластокарста также в породах нижнеказанского подъяруса верхнего отдела пермской системы [12], но исследованиями автора настоящей статьи кластокарстовые формы рельефа в границах развития с поверхности этого стратиграфического подразделения при дешифрировании крупномасштабных аэроснимков и в ходе полевых маршрутов не зафиксированы.

Поверхностные проявления кластокарста на Прибельской равнине однообразны и представлены исключительно блюдце-, реже чашеобразными, небольшими (до 30 м в поперечнике) и неглубокими (очень редко до 3 м) воронками. Встречаются они одиночно и карстовых полей не образуют. Главной особенностью их распространения является то, что они располагаются цепочками длиной не более 5 км параллельно ближайшему эрозионному врезу на речных в основном левобережных верхнеплейстоценовых террасах и отсутствуют на поверхностях рельефа более древнего возраста.

Современная активность развития кластокарста оценена по интенсивности результирующих проявлений карстового процесса на поверхности —

провалов, которая является одним из показателей карстоопасности территории.

На Приайской равнине в загипсованных песчаниках кощелевской свиты с 1952 по 2021 г. достоверно зафиксировано 8 крупных (диаметром до 30 м и глубиной до 32 м) и не менее 10 мелких (поперечником до 5 м и глубиной 3 м) провалов. Большинство их возникло в 2–10 км к юго-востоку от с. Дуван с интенсивностью их образования 0.01 шт./км² в год. Самый крупный провал за это время зафиксирован и обследован автором в ходе изучения ЭГП в апреле 1988 г. в 2.3 км юго-западнее с. Улькунды (в 6 км юго-восточнее с. Дуван). На момент первого обследования входное отверстие провала было округлым диаметром 5 м. В бортах его обнажались элювиально-делювиальные суглинки и глины, под которыми залегали мелкозернистые, тонкослоистые песчаники с листоватыми прослоями известняков. Глубина провала по центру составляла 22 м, а поперечник по дну 10 м. По данным повторного обследования глубина провала к октябрю 1988 г. увеличилась до 32 м (!) [20, 24]. Через 33 года на месте провала, в результате обрушения его бортов, сформировалась округлая конусообразная воронка диаметром 26 м и глубиной 13 м (рис. 3).

Площади распространения кластокарста на Приайской равнине и отрицательное его воздействие на объекты экономики и жизнедеятельность человека соизмеримы с воздействием самого опасного в регионе сульфатного карста.

На Прибельской равнине современные кластокарстовые провалы в естественных условиях в последние 100 лет не фиксировались [17].

Р.Ф. Абдрахманов и др. [3] указывают, что резкая активизация карстово-суффозионного процесса происходит при сооружении прудов и водоемов. Создание водоема на р. Агарды (бассейн р. Кармасан) вызвало растворение прослоев гипса и гипсового цемента в аргиллитоподобных глинах. В результате этого в верхнем бьефе левого склона долины на второй год эксплуатации пруда возникла цепочка воронок диаметром до 2 м и глубиной до 1 м. Считается [3], что образование их свя-



Рис. 3. Улькундинский провал [24]: а — форма провала в апреле 1988 г., б — конусообразная воронка в июне 2021 г., образовавшаяся на месте провала.

зано с активизацией кластокарста в уфимских терригенных породах. Это единственное известное на сегодня современное активное проявление кластокарста на поверхности на юго-западе региона. В настоящее время водоем эксплуатируется и в последние 30 лет подобных явлений при создании малых водохранилищ на Прибельской равнине вообще не фиксировалось, равно как и образование в Южном Предуралье в последние 100 лет каких-либо новых форм любых проявлений кластокарста.

Таким образом, кластокарст на территории РБ имеет площадной характер распространения только на северо-востоке республики, а на остальной ее части формы его проявления развиты локально. Современная активность его развития как по масштабам проявления, так и по частоте образования его новых форм на Приайской равнине заметно выше, чем на Прибельской.

КАРСТ ИЗВЕСТКОВЫХ ТУФОВ

В районе исследований карст известковых туфов развит преимущественно на Бугульмино-Белебеевской возвышенности и связан с карбонатными породами казанского яруса верхней перми. Выделение его в самостоятельный нетрадиционный тип карста обусловлено своеобразными и крайне редко встречающимися формами его проявления. Главной их особенностью является то, что они представлены не отрицательными формами рельефа (провалами, воронками и т.п.), а покровами карбонатных туфов (травертина) и пещер в них. Покровы известкового туфа сформированы на склонах эрозионной сети высотой 10–50 м и протяженностью до 150–200 м, они образованы осадками родниковых вод [11]. Воды родников, опробованные при гидрогеологических съемках,

у выхода которых зафиксированы покровы известкового туфа, пресные гидрокарбонатного магниево-кальцево-натриевого состава с общей минерализацией $0.3\text{--}0.4\text{ г/дм}^3$ при общей жесткости $5.5\text{--}5.6\text{ мг-экв/дм}^3$ [11, 25].

Все исследователи связывают образование травертина с дегазацией диоксида углерода при выходе подземных вод на поверхность, а высокое содержание свободного CO_2 в них — с процессами окисления вкраплений пирита в коренных породах [3, 11, 12].

Покровы известкового туфа незначительны по площади и не превышают обычно десятков квадратных метров. Они фиксировались автором в ходе изучения ЭГП у выхода родников в виде травертиновых уступов как в Южном Предуралье, так и в горной части Южного Урала.

Самый крупный травертиновый покров региона площадью около 0.5 км^2 известен в 3.8 км вверх по тальвегу Казенного лога, устье которого открывается справа в долину р. Кидаш между деревнями Нижнетроицкое и Старошахово (Туймзинский район РБ) [3, 11, 13 и др.]. Источником его является пластовый выход подземных вод из верхнеказанского водоносного горизонта. Он представлен цепочкой нисходящих родников, выходящих из-под обломков известняков в средней части левого склона лога. Родники рассредоточены вдоль склона на протяжении 250 м в интервале абсолютных отметок 253–255 м с превышением над тальвегом лога 16–18 м и суммарным дебитом в летний период года около $50\text{ дм}^3/\text{с}$.

По результатам ранее проведенных исследований [3, 11] считается, что основной причиной туфообразования в Казенном логу является дегазация диоксида углерода при выходе подземных вод на поверхность под воздействием повышения

температуры. Между тем общеизвестно, что кроме температурного фактора отложению известкового туфа способствуют также падение давления подземных вод, связанное с их выходом на поверхность, диффузия свободного CO_2 в атмосферу из-за более интенсивного движения воды на поверхности и его ассимиляция растениями [25].

Кроме определяющего геохимического условия образования известкового туфа, важную роль в травертиногенезе играет биологический фактор, который ранее при развитии карста известковых туфов в рассматриваемом регионе не учитывался. В настоящее время установлено [22, 23], что отложению известкового туфа способствуют травертин-образующие организмы. Так, склон Казенного лога с максимальной площадью травертина ниже выхода подземных вод покрыт реофильным сообществом зеленых мхов, среди которых встречается и “краснокнижный” в РБ мох — палюстриелла незамеченная (*Palustriella de-*

ciens) [13]. Именно инкрустированные карбонатом “подушки” мхов образуют пористый губчатый карбонатный осадок, который сохраняет форму мха и фоссилизируется. Пористое моховое слоевище обеспечивает архитектурную основу для отложений травертина [25]. При отсутствии мха осаждение карбоната кальция у выхода родников все равно происходит, но нерастворимый осадок карстующихся пород не сохраняется, а транспортируется проточной водой вниз по течению [25]. То есть отложение известкового туфа возможно не только при наличии гидрогеохимических условий, но и при обязательном участии биоты.

Родниковые воды, стекая по покрову травертина, образуют каскады мелких водопадов (рис. 4). В месте наибольшей его мощности сформировался Шумиловский водопад (рис. 5), который входит в состав комплексного памятника природы (постановление Правительства РБ от 14.12.2010

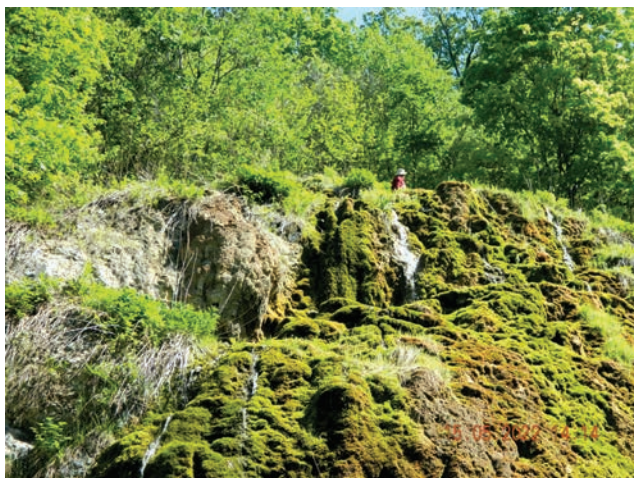


Рис. 4. Покровы травертина в районе Шумиловского водопада [25].



Рис. 5. Шумиловский водопад [25].

№ 480). Характеристика его приведена в Реестре [13], а условия образования в [25]. Здесь лишь следует подчеркнуть, что главной особенностью водопада является то, что наряду с падением с травертинового уступа мелких ручейков, сток воды с него происходит из мохового слоевища тонкими струйками, что придает водопаду особую привлекательность.

В окрестностях Шумиловского водопада имеются три грота и две небольшие пещеры протяженностью от 3.5 до 13 м. Они находятся в 10–15 м выше подошвы туфового массива. По мнению ряда исследователей [3, 11], они образованы растворением известкового туфа, что маловероятно, поскольку травертин представляет собой трудно растворимый осадок карбонатов. Учитывая важную роль биоты в травертиногенезе, можно предположить, что гроты и пещеры в “Урочище Шумиловский водопад” представляют собой изначально не заполненные травертином пустоты. Сохранению их в массиве известковых туфов способствовали турбулентные потоки воды, препятствующие формированию сообществ травертин-образующих организмов. Подтверждением этому предположению служат: коридорный тип пещер с весьма малыми поперечными сечениями (как правило, менее 1.5 м²), наличие в них проточных озер и фрагментов террас подземных водных потоков, подобных речным террасам. То есть пещеры урочища представляют собой подземные пространства, не заполненные травертином в местах, где в силу больших скоростей подземного водного потока, условия образования известкового туфа с участием биоты отсутствуют. Между тем, гидрохимические условия отложения карбоната кальция обуславливают формирование в пещерах небольших сталактитов.

СУЛЬФИДНЫЙ КАРСТ

В научную литературу термин “рудный карст” впервые был введен Ю.П. Ивенсеном, под которым он понимал “окислительное выщелачивание” сульфидных минералов [7]. На особый литологический тип карста указывал и В.А. Апродов [4], под которым он также понимал процесс выщелачивания природными водами сульфидных рудных тел. В дальнейшем рудный карст стал толковаться далеко неоднозначно [26]. Так, одни исследователи рассматривали рудный карст как карстовые полости любого происхождения, вмещающие руды [9], другие — как пустоты и полости, возникающие в карбонатных породах под действием серной кислоты (продукта окисления сульфидных руд) [14], третьи, вслед за Ю.П. Ивенсеном, — как карстовый процесс, развивающийся непосредственно в сульфидных рудных телах [4, 21].

Наиболее полное обоснование выделения сульфидного карста, как одного из самостоятельных литологических типов карста, было дано, по мнению автора, В.А. Гаряиновым [6]. Развивая представления о рудном карсте Ю.П. Ивенсона, В.А. Апродова и Н.И. Соколова, он определил рудный карст не как явление локализации рудного вещества в ранее образовавшихся карстовых полостях (рудноносный карст по [9] или рудный по [7]), и не как карст в известняках, вмещающих тела сульфидных руд, а как карст в самих рудных телах. При этом он совершенно справедливо использовал термин “сульфидный карст”, который четко обозначает (по аналогии с сульфатным, карбонатным и т.п.) группу карстующихся пород [26]. Этот термин и его толкование В.А. Гаряинова принимаются и автором настоящей работы.

При выщелачивании сульфидов из первичных руд может выноситься до 80–90% их объема, при этом резко увеличивается их пористость и образуются пустоты. Из этого следует, что сульфидные руды по механизму протекания в них карстового процесса практически ничем не отличаются от других традиционных карстующихся пород [6].

Развитие сульфидного карста, как и других его литологических типов (карбонатного и сульфатного), происходит под влиянием хорошо известных общих геолого-геоморфологических и климато-гидрогеологических факторов [10]. При этом, кроме физических и геохимических свойств рудных тел, глубина и интенсивность развития сульфидного карста зависят от состава и свойств вмещающих рудные тела пород. Наибольшее развитие он получил в условиях, когда сульфидные руды находятся среди традиционно карстующихся карбонатных пород, в которых карст под воздействием сульфидных вод заметно активизируется [6].

Распространение сульфидного карста приурочено к зонам сульфидной минерализации и месторождениям медноколчеданных руд. Развита он на локальных участках Башкирского Зауралья (см. рис. 1), где коэффициент увлажнения территории менее 1. В этом отношении сульфидный карст в рассматриваемом регионе развивается в условиях недостаточного увлажнения территории. На поверхности он представлен в основном округлыми блюдцеобразными западинами часто с заболоченным дном, очень редко чашеобразными воронками. Поперечник их колеблется от нескольких до десятков метров, а глубина не превышает 1–2 м [26]. Они были широко развиты на рудном поле Юбилейного месторождения, особенно в районе третьей залежи, выходящей на поверхность палеозойского фундамента под юрскими отложениями. Распространены они также в южной части Западно-Подольского участка сульфидной минерализации, в Маканско-Петропавловской тектонической зоне в бассейне р. Макан

и на Бузавлык-Таналыкском междуречье [14]. Как указывают М.Ш. Биков и Ю.В. Александров (1978 г.), существовали они и на Бурибайском медноколчеданном месторождении.

По мнению В.А. Гаряинова [6], поверхностные проявления сульфидного карста могут служить одним из поисковых признаков новых месторождений меди.

В настоящее время в процессе разработки медноколчеданных месторождений и хозяйственного освоения территорий формы рельефа, обусловленные развитием сульфидного карста, большей частью уничтожены.

ДРУГИЕ НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТИПЫ КАРСТА

Кроме рассмотренных выше нетрадиционных типов карста на Южном Урале и в Предуралье развиты также соляной карст и карст в мраморах.

В Башкортостане соляной карст известен в Предуральском краевом прогибе. Он обусловлен искусственным выщелачиванием месторождений поваренной соли в глубоких горизонтах, самое примечательное и известное из которых — Яр-Бишкадакское месторождение в Ишимбайском районе РБ (паспорт месторождения Росгеолфонда № Б-18775). С 1950-х гг. в отложениях кунгурского яруса нижней перми эксплуатируется правобережный участок этого месторождения [8] с целью добычи поваренной соли для производства кальцинированной соды АК “Сода” (лицензия УФА00116ТЭ). Мощность искусственно растворяемых соленосных пластов путем закачки в них пресных вод на глубине 840–1350 м составляет 190–380 м. Выщелачиванием создаются подземные резервуары объемом до 4 тыс. м³, над которыми по данным Г.В. Бельтюкова происходит проседание земной поверхности со скоростью 10 мм/год [5]. К сожалению, современные сведения о влиянии разработки Яр-Бишкадакского месторождения поваренной соли на состояние недр отсутствуют.

Небезынтересно отметить, что созданные подземным выщелачиванием пустоты на Яр-Бишкадакском месторождении используются как подземные хранилища нефтепродуктов (ОАО “Подземнефтегаз”, лицензия УФА00688ПП). В бывшем СССР это первое подземное хранилище нефтепродуктов, которое эксплуатируется с 1960 г.

Карст в мраморах по сути своей является карбонатным карстом, поскольку мрамор — это перекристаллизованный известняк, но на территории РБ он встречается крайне редко. Так, на государственном балансе запасов в настоящее время числится всего 6 месторождений мраморизованных известняков, из которых только одно — Амангильдинское, является месторождением мрамора

девонского возраста (паспорт месторождения Росгеолфонда № Б-25989).

В 2000 г. на дне Амангильдинского карьера (Абзелиловский район РБ) автором и Ю.В. Соколовым была обследована подземная полость объемом 103 м³, которая была вскрыта на дне карьера при блочной добыче мрамора (рис. 6). В результате образования провала на дне карьера разработка месторождения была приостановлена на несколько месяцев.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из выделенных нетрадиционных типов карста на Южном Урале и в Предуралье наибольшее развитие получил кластокарст. Поверхностные его проявления имеют площадное, но ограниченное распространение только в северно-восточной части региона, а на остальной территории он развит локально. Формы проявления других нетрадици-

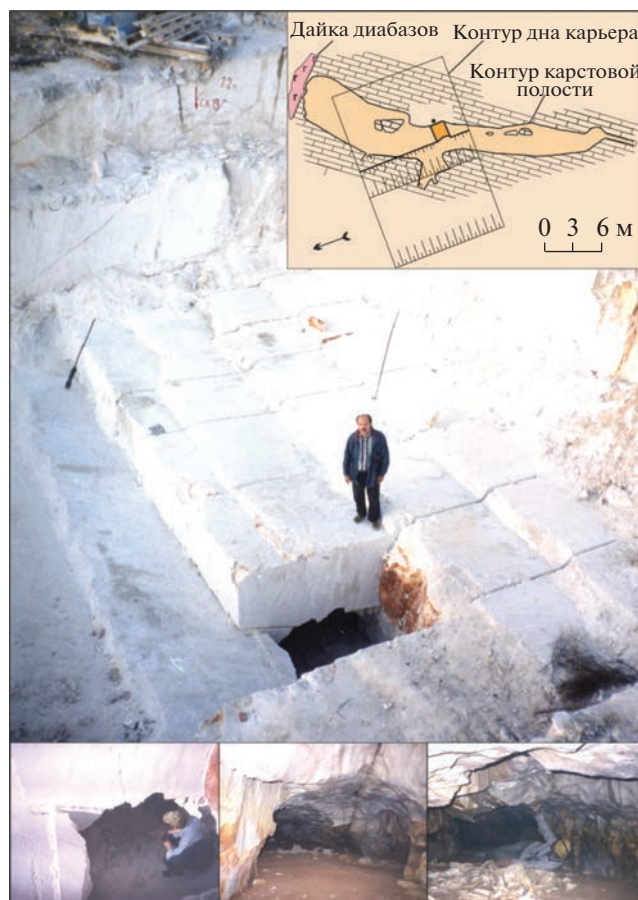


Рис. 6. Провал над карстовой полостью в Амангильдинском карьере при блочной разработке мрамора. В верхнем правом углу — план полости; в нижнем ряду (фото слева направо): вход в карстовую полость, северо-восточная и южная части полости (А.И. Смирнов и Ю.В. Соколов, сентябрь, 2000 г.).

онных типов карста на рассматриваемой территории встречаются крайне редко.

Нетрадиционные типы карста региона имеют как отрицательное, так и положительное научно-практическое значение.

Кластокарст и карст в мраморах, как и традиционные типы карста, осложняют хозяйственное освоение территории. Первый — ухудшает инженерно-геологические условия строительства и повышает карстоопасность территории; второй — осложняет разработку месторождений полезных ископаемых. В то же время поверхностные проявления сульфидного карста являются поисковым признаком медноколчеданных руд. Соляной карст способствует добыче поваренной соли в регионе, а созданные при этом карстовые пустоты используются в качестве подземных хранилищ нефтепродуктов.

Особое положение занимает карст известковых туфов, обуславливающий формирование своеобразных карстовых форм, уникальным из которых является Шумиловский водопад — памятник природы республиканского значения. Он ежегодно привлекает к себе внимание тысячи, к сожалению, пока неорганизованных туристов.

Дальнейшее изучение нетрадиционных типов карста должно быть направлено на оценку современной активности их развития с целью определения степени воздействия редких типов карста на состояния недр (прежде всего соляного и кластокарста), организацию экскурсионных научных и учебно-познавательных маршрутов в районах проявления карста известковых туфов и кластокарста.

Работа выполнена в рамках государственной бюджетной темы № FMRS-2022-0010.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдрахманов Р.Ф., Дурнаева В.Н., Полева А.О., Бакеева 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.
2. Абдрахманов Р.Ф., Полева А.О., Дурнаева В.Н., Бакеева А.Р., Еранов Е.А., Носарева С.П. Карст Южного Урала и Предуралья, современная активность его развития // Геологический вестник. 2022. № 1. С. 3—22.
3. Абдрахманов Р.Ф., Мартин В.И., Попов В.Г., Рожественский А.П., Смирнов А.И., Травкин А.И. Карст Башкортостана. Уфа: Информреклама, 2002. 384 с.
4. Апродов В.А. Рудный карст // Общие вопросы карстоведения / Отв. ред.: Н.А. Гвоздецкий, Н.И. Соколов. М: Изд-во АН СССР, 1962. С. 116—129.
5. Бельтюков Г.В. Соляной карст Башкирского Предуралья и его практическое значение // Карст Башкирии: тез. докл. к Совещ. по вопросам науч. и практ. значения карста Башкирии. Уфа: [б.и.], 1971. С. 26—27.
6. Гаряинов В.А. Экзогенные структуры и их поисковое значение. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1980. 208 с.
7. Ежов Ю.А., Лысенин Г.П., Андрейчук В.Н., Дублянский Ю.В. Карст в земной коре: распространение и основные типы. Новосибирск: ОИГГМ, 1992. 76 с.
8. Каратыгин Е.П., Старостенков В.Л. Развитие геотехнологических методов при разработке Яр-Биш-кадакского месторождения каменной соли // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2003. № 6. С. 197—200.
9. Ляхницкий Ю.С. Вопросы терминологии и классификации карстовых явлений // Проблемы изучения, экологии и охраны пещер. Киев:[б.и.], 1987. С. 13—23.
10. Максимович Г.А. Основы карстоведения. Пермь: Пермское книжное издательство, 1963. Т. 1. 444 с.
11. Максимович Г.А., Попов В.Г., Абдрахманов Р.Ф., Костарев В.П. Условия формирования и карстовые пещеры известковых туфов Западной Башкирии // Пещеры. Пермь: ПГУ, 1976. Вып. 16. С. 88—96.
12. Мартин В.И. Типы и районирование карста Башкортостана // Карст Башкортостана. Уфа: РА Информреклама, 2002. С. 133—176.
13. Мулдашев А.А. Урочище Шумиловский водопад. Изд. 4-е. перераб. // Реестр ООПТ республиканского значения (Республики Башкортостан). 2022. С. 303—304.
14. Николаев Н.И. Основные проблемы изучения карста // Общие вопросы карстоведения. М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 26—33.
15. Смирнов А.И. Карст // Атлас Республики Башкортостан / Гл. ред. И.М. Япаров. Уфа: Омская картогр. ф-ка, Роскартография, 2005. С. 60.
16. Смирнов А.И. Равнинный карст Башкирского Зауралья и его практическое значение // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2019. Т. 32. № 3 (95). С. 25—33.
17. Смирнов А.И. Современные карстовые провалы на территории Южного Урала и Предуралья (в границах Республики Башкортостан) // Инженерная геология. 2020. Т. XV. № 4. С. 42—53.
18. Смирнов А.И. Карст территории геопарка “Янгантау” // Геологический вестник. 2021. № 3. С. 37—51.
19. Смирнов А.И. Виды и современная активность развития опасных геологических процессов на Южном Урале и в Предуралье // Геоэкология. 2022. № 2. С. 33—47.
20. Смирнов А.И., Абдрахманов Р.Ф. Карст Приайской равнины в Южном Предуралье // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий: матер. XXII Межрегион. научно-практ. конф. 2018. С. 406—411.
21. Соколов Н.И. Типологическая классификация карста // Материалы Комиссии по изучению геологии и географии карста. М.: [б.и.], 1961 № 1. С. 140—153.

22. Golubic S., Violante C., Plenkovic-Moraj A., Grgasovic T. Travertines and calcareous tufa deposits: an insight into diagenesis // *Geologia Croatica*. 61 (2). 2008. P. 363–378.
<https://doi.org/10.4154/GC.2008.28>
23. Pentecost A. Review and Reassessment of Travertine Classification // *Géographie physique et Quaternaire*. 2005. V. 48. № 3. P. 305–314.
24. Smirnov A.I. Clastokarst of the southern Cis-Urals // Proc. Int. Conf. “Science and innovations 2021: development directions and priorities” (September 29, 2021. Melbourne, Australia). Auspublishers, 2021. P. 179–187.
25. Smirnov A.I. Shumilovsky falls - unique karst object of the Southern Cis-Urals // Proc. of the Int. University Scientific Forum “Practice Oriented Science: UAE – RUSSIA – INDIA”. Scientific publishing house Infinity, 2022. P. 166–172.
26. Smirnov A.I. Sulfide karst of the Southern Urals // Scientific research of the SCO countries: synergy and integration: Proc. of the Int. Conf., Beijing, 20 april 2022. Beijing, Scientific publishing house Infinity, 2022. P. 168–174.

NON-TRADITIONAL KARST TYPES IN THE SOUTHERN URALS AND CISURALS

A. I. Smirnov

*Institute of Geology, Ufa Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences,
Karl Marks st., 16/2, Ufa, 450077 Russia*

E-mail: smalil@mail.ru

Despite the wide distribution of sulfate and carbonate karst in the study area, the nontraditional, rarely encountered karst types are also registered. These are clastokarst, karst of calcareous tuffs, sulfide karst, salt karst and marble karst. For each of these nontraditional types of karst, the conditions and factors of development were determined according to the karstic rock composition. Calcareous tuff karst is the least common in the study area, meanwhile clastokarst is widespread. Calcareous tuff karst is spread in the westernmost part of the Southern CisUrals, in the eastern outskirts of the Volga-Ural anticline; and clastokarst is found in the western margin of the Yuryuzan-Sylva depression of the CisUrals marginal foredeep. Sulfide karst is developed in the plains of the Southern TransUrals within the Magnitogorsk megazone of the Ural folded system, and salt karst occurs in the flat foothills of the Southern Urals within the Belaya Megadepression and the Shikhan-Ishimbai saddle of the CisUrals marginal foredeep. It has been established that the previously identified areas of clastokarst distribution in the west of the area under consideration are not confirmed by modern and Pleistocene forms of its manifestation. The negative impact of clastokarst on economic facilities and humans is comparable to the impact of the most common and dangerous sulfate karst, and this must be taken into account when designing and constructing new buildings and engineering structures. Salt karst is manifested in artificial leaching of rock salt at a depth, such salt is necessary for the production of soda ash (JSC “Soda”); the formed voids are used as underground storage facilities for oil products (OJSC Podzemneftegaz). Calcareous tuff karst is a rare type of karst in the region under consideration, it can be observed at the complex natural monument “Shumilovsky waterfall”. Surface manifestations of sulfide karst can be a search feature of new copper-sulfide deposits. Non-traditional types of karst have both positive and negative practical implications. Karst in marble complicates the development of mineral deposits, and clastokarst complicates the economic development of the territory. Calcareous tuff karst creates unique local landforms, and sulfide karst is of practical importance in the search for new mineral deposits. On the one hand, salt karst determines the extraction of minerals deposits and contributes to the creation of useful underground storage facilities, on the other hand, it destroys them.

Keywords: *clastokarst, calcareous tuff karst, sulfide karst, salt karst, Republic of Bashkortostan*

REFERENCES

1. Abdrakhmanov, R.F., Durnaeva, V.N., Poleva, A.O., Bakieva, A.R. *Otsenka sovremennoi aktivnosti karbonatnogo karsta s ustanovleniem geologo-gidrogeologicheskikh osobennostei ego razvitiya v neogen-chetvertichnoe vremya* [Assessment of present-day activity of carbonate karst and determination of geological and hydrogeological features of its development in Neogene and Quaternary age]. *Geologicheskii vestnik*, 2021, no. 1, pp. 105–114. (in Russian)
2. Abdrakhmanov, R.F., Poleva, A.O., Durnaeva, V.N., Bakieva, A.R., Eranov, E.A., Nosareva, S.P. *Karst Yuzhnogo Urala i Predural'ya, sovremennaya aktivnost' ego razvitiya* [Karst in the Southern Urals and CisUrals, its present-day development activity]. *Geologicheskii vestnik*, 2022, no. 1, pp. 3–22. (in Russian)
3. Abdrakhmanov, R.F., Martin, V.I., Popov, V.G., Rozhdestvenskii, A.I., Smirnov, A.I., Travkin, A.I. *Karst Bashkortostana* [Karst in Bashkortostan]. Ufa, Inform-reklama Publ., 2002, 384 p. (in Russian)
4. Aprodov, V.A. Rudnyi karst [Karst in ores]. In: *Obshchie voprosy karstovedeniya* [Fundamental issues in karst

- study]. N.A. Gvozdet'skii, N.I. Sokolov, Eds. Moscow, AN SSSR Publ., 1962, pp. 116–129. (in Russian)
5. Bel'tyukov, G.V. *Solyanoi karst Bashkirskogo Predural'ya i ego prakticheskoe znachenie* [Salt karst in Bashkiriya CisUrals and its practical significance]. In: *Karst Bashkirii: Mater. respub. Soveshch.* [Karst in Bashkiriya. Proc. Sci.-Techn.Workshop]. Ufa, 1971, pp. 26–27. (in Russian)
 6. Garyainov, V.A. *Ekzogennyye struktury i ikh poiskovoye znachenie* [Exogenic structures and their survey role]. Saratov, Saratov University Publ., 1980, 208 p. (in Russian)
 7. Ezhov, Yu.A., Lysenin, G.P., Andreichuk, V.N., Dublyanskii, Yu.V. *Karst v zemnoi kore: rasprostraneniye i osnovnyye tipy* [Karst in the Earth crust: distribution and the main types]. Novosibirsk, 1992, 76 p. (in Russian)
 8. Karatygin, E.P., Starostenkov, V.L. *Razvitiye geotekhnologicheskikh metodov pri razrabotke Yar-Bishkadakskogo mestorozhdeniya kamennoi soli* [Geotechnological methods in the development of Yar-Bishkadakskoe rock salt deposit]. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten'*, 2003, no. 6, pp. 197–200. (in Russian)
 9. Lyakhnitskii, Yu.S. *Voprosy terminologii i klassifikatsii karstovykh yavlenii* [Issues in terminology and classification of karst phenomena]. In: *Problemy izucheniya, ekologii i okhrany peshcher* [Issues of the study, ecology, and preservation of caves]. Kiev, 1987, pp. 13–23. (in Russian)
 10. Maksimovich, G.A. *Osnovy karstovedeniya* [Fundamental of karstology]. Perm', Permskoe knizhnoe izd-vo, 1963, vol. 1, 444 p. (in Russian)
 11. Maksimovich, G.A., Popov, V.G., Abdrakhmanov, R.F., Kostarev, V.P. *Usloviya formirovaniya i karstovyye peshchery izvestkovykh tufov Zapadnoi Bashkirii* [Formation conditions and karstic caves in limestone tuffs in the Western Bashkiriya]. In: *Peshchery* [Caves]. Perm', PGU Publ. 1976, issue 16, pp. 88–96. (in Russian)
 12. Martin, V.I. *Tipy i rayonirovaniye karsta Bashkortostana* [Types and zoning of karst in Bashkortostan]. In: *Karst Bashkortostana* [Karst in Bashkortostan]. Ufa, Inform-reklama Publ., 2002, pp. 216–226. (in Russian)
 13. Muldashev, A.A. *Urochishche Shumilovskii vodopad* [Shumilovskii waterfall tract]. *Reestr OOPT respublikanskogo znacheniya (Respubliki Bashkortostan)* [Register of specially protected natural areas in Bashkortostan Republic]. 2022, pp. 303–304. (in Russian)
 14. Nikolaev, N.I. *Osnovnyye problemy izucheniya karsta* [The main problems in the karst study]. In: *Obshchie voprosy karstovedeniya* [Fundamental issues in karst study]. N.A. Gvozdet'skii, N.I. Sokolov, Eds. Moscow, AN SSSR Publ., 1962, pp. 26–33. (in Russian)
 15. Smirnov, A.I. *Karst. Atlas Respubliki Bashkortostan* [Karst. Atlas of Bashkortostan Republic]. I.M. Yarov, Ed. Ufa, Roskartografiya Publ., 2005, 60 p. (in Russian)
 16. Smirnov, A.I. *Ravninnyi karst Bashkirskogo Zaural'ya i ego prakticheskoe znachenie* [Plain karst in Bashkiriya CisUrals and its practical importance]. *Vestnik Akademii nauk Respubliki Bashkortostan*, 2019, vol. 32, no. (95), pp. 25–33. (in Russian)
 17. Smirnov, A.I. *Sovremennyye karstovyye provaly na territorii Yuzhnogo Urala i Predural'ya (v granitsakh Respubliki Bashkortostan)* [Modern karst collapses in Southern Urals and CisUrals (within the boundaries of Bashkortostan Republic)]. *Inzhenernaya geologiya*, 2020, vol. XV, no. 4, pp. 42–53. (in Russian)
 18. Smirnov, A.I. *Karst territorii geoparka "Yangan-tau"* [Karst in Yangan-tau geopark]. *Geologicheskii vestnik*, 2021, no. 3, pp. 37–51. (in Russian)
 19. Smirnov, A.I. *Vidy i sovremennaya aktivnost' razvitiya opasnykh geologicheskikh protsessov na Yuzhnom Urale i v Predural'e* [Types and modern activity of hazardous geological processes in the Southern Urals and CisUrals]. *Geokologiya*, 2022, no. 2, pp. 33–47. (in Russian)
 20. Smirnov, A.I., Abdrakhmanov, R.F. *Karst Priaiskoi ravniny v Yuzhnom Predural'e* [Karst in Priaiskaya Plain, the southern CisUrals]. In: *Geologiya, poleznye iskopaemye i problemy geokologii Bashkortostana, Urala i sopredel'nykh territorii. Materialy 12i Mezhtsebnogo nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Geology, mineral deposits, and geoeological problems in Bashkortostan, Urals and adjacent areas. Proc. 12th Interregional Sci.-Pract. Conf.]. 2018. pp. 406–411. (in Russian)
 21. Sokolov, N.I. *Tipologicheskaya klassifikatsiya karsta* [Typological classification of karst]. *Mat-ly Komiss. po izucheniju geologii i geografii karsta* [Proc. of Commission on the study of karst geology and geography]. Moscow, 1961, no. 1. pp. 140–153. (in Russian)
 22. Golubic, S., Violante, C., Plenkovic-Moraj, A. Grgasovic, T. Travertines and calcareous tufa deposits: an insight into diagenesis. *Geologia Croatica*, 2008, no. 61/2–3. pp. 363–378.
 23. Pentecost, A. Review and reassessment of travertine classification. *Géographie physique et Quaternaire*, 2005, vol. 48, no. 3, pp. 305–314.
 24. Smirnov, A.I. Clastocarst of the southern Cis-Urals. International Conference "Science and innovations 2021: development directions and priorities". September 29, 2021, pp. 179–187.
 25. Smirnov, A.I. Shumilovsky falls - unique karst object of the Southern cis-Urals. In: Practice Oriented Science: UAE - Russia - India: Materials of International University Scientific Forum, UAE, 09 July 2022.
 26. Smirnov, A.I. Sulfide karst of the Southern Urals. In: Scientific research of the SCO countries: synergy and integration: Proc. International Conference, Beijing, 20 April 2022, pp. 168–174.