

КАРТА КАРСТА УФИМСКОГО ПЛАТО (В ГРАНИЦАХ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН)

А. И. Смирнов, А. Р. Бакиева

Институт геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, 450077, г. Уфа, ул. К. Маркса, 16/2, E-mail: smalil@mail.ru

Представлена современная карта карбонатного карста Уфимского плато масштаба 1:500 000, которая является составной частью ГИС-проекта «Карст Южного Урала и Предуралья». Вслед за составленной ранее картой сульфатного карста Южного Предуралья, она является следующим этапом создания сводной карты карста Республики Башкортостан. На карте получили картографическое отображение наиболее типичные карстопоявления, позволяющие судить о характере и активности развития карста в регионе. Прослежена связь развития карста и истории геологического развития территории в неоген-четвертичное время. Установлена зависимость проявления карста на поверхности от возраста, состава и мощности покрывающих карстующиеся породы отложений. Карстоопасность региона оценена как потенциально опасная.

Ключевые слова: Южное Предуралье, Уфимское плато, карбонатный карст, суходол, высокодебитный родник, провал с фиксированным временем образования

KARST MAP OF THE UFA PLATEAU (WITHIN THE BORDERS OF THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN)

A. I. Smirnov, A. R. Bakieva

Institute of Geology, Ufa Federal Research Center of RAS, 450077, Russia, Ufa, K. Marx st., 16/2, E-mail: smalil@mail.ru

A modern map of the carbonate karst of the Ufa plateau with a scale of 1:500 000 is presented, which is an integral part of the «Karst of the Southern Urals and Predural» GIS project. Following the previously compiled map of the sulfate karst of the Southern Urals, it is the next stage in the creation of a consolidated karst map of the Republic of Bashkortostan. On the map, the most typical karst occurrences were shown, allowing to judge the nature and activity of karst development in the region. The connection between the development of karst and the history of the geological development of the territory in the Neogene-Quaternary is traced. The dependence of the surface manifestation of karst on the age, composition and thickness of the sediments covering the karst rocks has been established. The karst hazard of the region is assessed as potentially dangerous.

Key words: Southern Cis-Urals, Ufa plateau, carbonate karst, dry land, high flow rate spring, sinkhole with a fixed formation time

Для цитирования: Смирнов А.И., Бакиева А.Р. Карта карста Уфимского плато (в границах Республики Башкортостан) // Геологический вестник. 2020. № 3. С. 123–136. DOI: 10.31084/2619-0087/2020-3-10.

For citation: Smirnov A.I., Bakieva A.R. (2020) Karst map of the Ufa plateau (within the borders of the Republic of Bashkortostan). *Geologicheskii vestnik*. No. 3. P. 123–136. DOI: 10.31084/2619-0087/2020-3-10.

Введение

Карст Уфимского плато является классическим примером развития равнинного карбонатного карста. В его пределах распространены самые разнообразные, как поверхностные (воронки, колодцы, исчезающие ручьи и др.), так и подземные (каверны, гроты, пещеры и др.) карстопоявления. Наиболее примечательными и относительно редко встречающимися из них в Южном Предуралье, но типичными для рассматриваемого региона, являются суходоламы (сухие долины рек) и высокодебитные родники.

В 1960 г. на сильно закарстованных породах плато была построена первая крупная гидроэлектростанция на р. Уфе [Лыкошин, 1959]. При изысканиях под ГЭС были получены ценные сведения о карбонатном карсте, а выявленные закономерности его развития получили широкое признание и распространение в карстоведении [Лыкошин, Соколов, 1954; Соколов, 1962]. Кроме того, при сооружении плотины впервые в отечественной практике были выполнены работы по созданию глубоких противодиффузионных цементационных завес в сильнотрещиноватых и закарстованных породах. Опыт их создания успешно был применен при сооружении плотины Юмагузинского водохранилища на р. Белой в 2004 г.

Актуальность исследований. Карта карста Уфимского плато является составной частью создаваемого ГИС-проекта «Карст Южного Урала и Предуралья» и вслед за картой сульфатного карста является следующим этапом составления карты карста Республики Башкортостан масштаба 1:500 000.

Целью исследования является составление современной карты карста Уфимского плато с использованием ГИС-технологий и уточнение на ее основе закономерностей развития карста.

Исходными данными для исследования послужили актуализированные авторами данные гидрогеологических съемок [Алексеева, Муртазин, 1967 г.; Шевченко, Сапожников, 1969 г.; Беляев, Еремина, 1971 г.; Сеницын, Шевченко, 1978 г.] и съемки проявлений экзогенных геологических процессов [Смирнов, Нагуманов, Ткачев, 1989 г.], а также собственные исследования авторов 2018–2020 гг.

Краткие сведения о регионе

Пространственные границы. Рассматриваемый регион располагается в Южном Предуралье на восточной окраине Восточно-Европейской равнины в северной части Республики Башкортостан

(РБ) в пределах Аскинского, Караидельского, Нуримановского, Дуванского, Благовещенского и Салаватского муниципальных районов (рис. 1).

На юге плато ограничивается хребтом Каратау, на востоке обрывается крутым уступом к Приайской равнине [Смирнов, Абдрахманов, 2018], на западе плавно переходит в Прибельскую холмисто-увалистую равнину [Смирнов, 2005а], а на севере, продолжаясь за пределами Башкортостана, переходит в Сылвинский кряж.

Если южная и восточная границы плато достаточно четкие, то западная и юго-западная — расплывчатые и различными исследователями проводятся неодинаково [Данукалов, 1959; Рождественский, 1971; Ткачев, Толстунова, 1972; и др.], хотя в общих чертах у большинства из них они совпадают. Основываясь на представлениях предыдущих исследователей, западная и юго-западная границы плато определены нами по геоморфологическим признакам. К востоку и северо-востоку от них наблюдается единая платообразная поверхность, расчлененная крутосклонными долинами-дренами с преобладающими абсолютными отметками водоразделов выше 250 м. К западу и юго-западу — водораздельные пространства хотя и имеют платообразный облик, но носят островной и слегка выпуклый характер. Абсолютные отметки их редко превышают 250 м, а долины рек имеют трапециевидный и асимметричный профиль.

Поверхность Уфимского плато ровная, слабо наклоненная с восток-юго-востока (абсолютные отметки 420–517 м) на запад-северо-запад (абсолютные отметки 250–340 м). В пределах РБ расположена южная наиболее возвышенная и широкая (до 250 км) часть плато, расчлененная узкими крутосклонными и глубокими (до 200–250 м) речными долинами и суходолами (безводными долинами-дренами). Главной водной артерией плато является р. Уфа с ее крупными правыми притоками Ай и Юрюзань.

Геологическое строение. Рассматриваемый регион расположен на восточной окраине Волго-Уральской антеклизы. По данным геологической съемки масштаба 1:200 000 [Алкснэ, 1965 г.; Сеницын, 1978 г.] в пределах этой структуры с поверхности и до глубины 250 м (до которой установлено современное развитие карстового процесса) повсеместно распространены нижнепермские отложения от ассельского до кунгурского яруса включительно. Более молодые неогеновые и плейстоценовые образования распространены на плато локально.

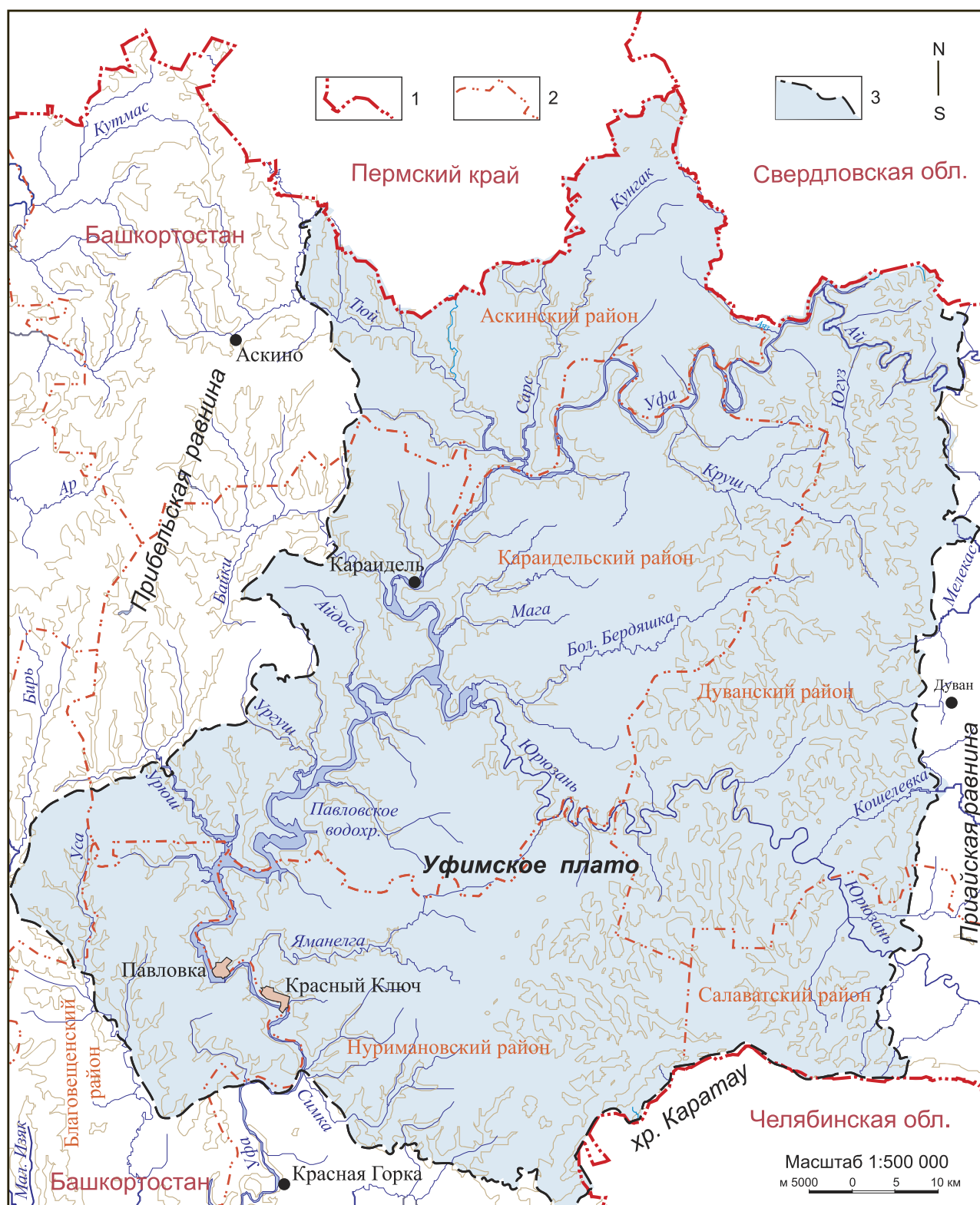


Рис. 1. Обзорная карта Уфимского плато (в границах Республики Башкортостан)

Границы: 1 — субъектов Российской Федерации, 2 — муниципальных районов Республики Башкортостан; 3 — Уфимского плато.

Fig. 1. Overview map of the Ufa plateau (within the borders of the Republic of Bashkortostan)

Borders: 1 — constituent entities of the Russian Federation, 2 — municipal districts of the Republic of Bashkortostan; 3 — Ufa plateau.

Породы ассельского и сакмарского ярусов на Уфимском плато распространены ограниченно. В юго-восточной его части первый представлен урмантауской свитой, которая сложена чистыми по составу известняками мощностью 160–230 м, а второй — юрюзанской свитой органогенных известняков мощностью 90–140 м.

Отложения артинского яруса мощностью 25–120 м пользуются на плато более широким распространением. Нижний его подъярус представлен нижней (глинистые и кремнистые известняки) и средней (в основном органогенно-обломочные известняки) толщами иргинской свиты. Разрез верхнего подъяруса артинского яруса мощностью 60–180 м сложен чистыми по составу органогенно-обломочными известняками, среди которых залегают толщи глинистых и кремнистых известняков (камайская и шуртанская свиты).

Породы кунгурского яруса выведены на дневную поверхность в западной части Уфимского плато и представлены филипповским и иренским горизонтами. В первом (мощностью 89–90 м) преобладают доломиты, во втором — брекчиевидные известняки с глинисто-мергелистыми прослоями в верхней и нижней частях разреза.

В тектоническом отношении нижнепермские отложения образуют Уфимский плакантиклинал (свод), с крутым восточным крылом и пологим — западным [Рождественский, 1971].

Из неогеновых отложений на плато самыми древними являются миоценовые образования, которые представлены песчано-глинистыми отложениями, заполняющими крупные карстовые воронки на междуречьях Бердяшка–Мага, Мага–Бол. Бердяшка, Юрюзань–Яман-Елга. Плиоценовые отложения заполняют палеодолину р. Уфы. В нижней части разреза они представлены песчано-галечными образованиями мощностью до 30 м (район Павловской ГЭС) в верхней суглинками и глинами.

Верхнеплиоценовые–нижнеплейстоценовые образования, выделяемые в составе общесыртовой свиты, распространены преимущественно на водораздельных пространствах в северной половине региона. В разрезе свиты преобладают глины и суглинки с прослоями и линзами песков и галечников. Кроме того, на водораздельных пространствах по правобережью р. Уфы на кунгурских породах залегают карбонатно-терригенные отложения соликамского горизонта уфимского яруса.

Четвертичные отложения маломощным (до 5 м) элювиально-делювиальным суглинистым чехлом

покрывают водораздельные пространства, а в долинах рек заполняют нижнеплейстоценовые эрозионные врезы, переуглубленные по отношению к современному до 25–30 м [Плиоцен..., 1981]. Нижняя часть их обычно сложена песком, гравийно-песчаными и галечными отложениями, а в верхней части речных террас преобладают суглинки и глины. Среднеплейстоценовые–голоценовые отложения развиты в узких и плоских днищах долин крупных рек и представлены аллювиальными суглинками, супесями, глинистыми песками и глинами.

Геоморфология. Основные черты геоморфологии Уфимского плато определяются, прежде всего, тем, что современный его рельеф является результатом длительной денудации и в значительной степени — результатом аккумуляции. То есть генетический тип рельефа плато — денудационный, что признается всеми исследователями региона. Действительно, погружающиеся на запад-северо-запад нижнепермские карбонатные породы срезаны на плато под общий уровень и четкой выраженности структурных форм в рельефе не наблюдается. Современный рельеф рассматриваемого региона активно начал формироваться после максимальной миоценовой пенепленизации территории в плиоцен-плейстоценовое время.

В конце миоцена и в начале плиоцена произошло значительное поднятие всего Предуралья [Рождественский, 1971; Плиоцен..., 1981]. В это время Уфимское плато возвышалось над руслами рек до 500 м, а из экзогенных геологических процессов (ЭГП) наибольшей активностью развития обладала глубинная речная эрозия, в результате чего образовались каньонообразные лога и долины рек. В дальнейшем подъем базиса эрозии, который с конца понта в среднем повысился на 80 м, повлек за собой подтопление сформированных палеодолин и заполнение их плиоценовыми осадками. Однако мощность обнаженных нижнепермских пород над р. Уфой составляла около 300 м и ее притоки продолжали вырабатывать свои продольные профили.

Снижение базиса эрозии в нижнем плейстоцене вновь активизировало развитие всех ЭГП и глубинной эрозии в частности. В четвертичное время активность ее развития то ослабевала, то вновь усиливалась и формировались аккумулятивные и эрозионно-аккумулятивные речные террасы. На плато насчитывается до трех плейстоценовых надпойменных террас с превышением над урезами рек (м): 2–13 (I), 4–25 (II) и до 36 (III) [Рождественский, 1971; Плиоцен..., 1981].

Таким образом, с конца миоцена на плато шло интенсивное, хотя периодически и приостанавливающееся, развитие глубинной речной эрозии. Она сыграла определяющую роль в формировании каньонобразных долин рек.

Гидрогеологические условия. В соответствии с последней схемой гидрогеологического районирования России, разработанной ФГБУ «Гидроспецгеология» [Пугач, 2016 г.] рассматриваемый регион относится к Восточно-Европейскому сложному артезианскому бассейну в пределах Камско-Вятского артезианского бассейна. В нем выделяется внутренний бассейн карстовых вод Уфимского плато, который характеризуется значительной мощностью карстующихся пород в зоне гипергенеза и сильной трещиноватостью, глубокой расчлененностью рельефа и длительным континентальным режимом его формирования [Мартин, 2002]. Для бассейна свойственен также почти нулевой дефицит испарения при годовой норме осадков 500–800 мм и испарения 470–490 мм (зона избыточного увлажнения). Все это предопределило формирование весьма благоприятных гидрогеологических условий для развития карста.

В пределах бассейна в карбонатных породах нижней перми выделяется ряд водоносных горизонтов, разделенных слабопроницаемыми глинистыми и кремнистыми водоупорами. Характеристика их подробно освещена в работах В.А. Алексеева, В.И. Мартина, Н.А. Наумова, А.В. Турышева, А.М. Шевченко и др. В дополнение к ней следует лишь добавить, что гидродинамическая зональность бассейна Уфимского плато является классической и представлена полным набором зон движения подземных вод — от зоны поверхностного стока до зоны сифонной их циркуляции [Мартин, 2002]. В последней подземные воды приобретают напорный режим, а наиболее водообильные зоны приурочены к карстовым каналам. Разгрузка карстовых вод зоны сифонной циркуляции происходит на окраинах плато и представлена высокодебитными восходящими родниками.

Минерализация карстовых вод на плато закономерно увеличивается по направлению от области питания ($0.1\text{--}0.2\text{ г/дм}^3$) к зонам разгрузки — к окраинам бассейна и с глубиной ($0.4\text{--}0.5\text{ г/дм}^3$). Во всех формах нахождения карстовые воды плато имеют гидрокарбонатный кальциевый состав. В соответствии с региональной гидродинамической и гидрохимической зональностью только глубже на 200 м современного эрозионного вреза на плато появляются воды с минерализацией выше 1.0 г/дм^3 [Мартин, 2002].

Карст

Карст Уфимского плато и формы его проявления освещены в многочисленных работах, из которых наиболее значимыми являются обобщающие работы А.В. Турышева [1967], В.И. Мартина [1972] и А.М. Шевченко [1973], а также Д.С. Соколова [1962].

В настоящее время достоверно установлено, что степень закарстованности нижнепермских карбонатов различная и находится в прямой зависимости от чистоты их состава. Наименее всего карст развит в известняках и доломитах филипповского горизонта, в которых карстопроявления представлены в виде мелких каверн. Слабо подвержены карстовому процессу также артинские кремнистые известняки. Наибольшей же закарстованностью обладают чистые по составу артинско-сакмарские рифогенные и органогенно-обломочные известняки.

Характер закарстованности нижнепермских карбонатных отложений находит прямое отражение в частоте встречаемости поверхностных карстопроявлений. Среди них, наряду с суходолами, колодцами, котловинами, понорами, наибольшим распространением пользуются воронки, встречаемость которых в разных частях плато не одинакова.

Многие исследователи карста Уфимского плато указывают, что при прочих равных условиях наибольшая встречаемость воронок наблюдается в верховьях долин рек, ручьев и логов, в предположительных понижениях водораздельных пространств. Концентрация воронок на таких участках, по мнению А.М. Шевченко, обусловлена: 1) высоким гипсометрическим уровнем залегания карбонатных пород; 2) малой мощностью покровных образований; 3) наличием значительной водосборной площади, обеспечивающей повышенную инфильтрацию и инфлюацию ультрапресных метеорных вод; 4) уменьшением крутизны поверхности выше первых очагов поглощения поверхностных вод. При этом наименьшее количество воронок встречается на поверхностях рельефа, уклоны которых больше 0.1 и меньше 0.005 [Шевченко, 1973].

К выявленным А.М. Шевченко закономерностям распространения карстовых воронок следует добавить еще одну особенность, выявленную нами. В верховьях логов и рек они распространены только там, где отсутствуют следы деятельности поверхностных сосредоточенных водотоков. На участках же днищ догов, долин рек и ручьев, где наблюдаются сухие русла и постоянные сосредоточенные водотоки, воронки распространены редко,

а встречающиеся прижаты к подножьям склонов долин-дрен, что характерно для всего Уфимского плато. Кроме того, наименьшее распространение поверхностные карстовые воронки получили в днищах долин рек с комплексом аллювиальных четвертичных террас в нижних и средних их течениях и на водораздельных пространствах в северной части плато.

Такой характер распространения поверхностных карстопроявлений, несомненно, обусловлен ходом формирования рельефа плато. Действительно, с конца миоцена на плато шло интенсивное, хотя и периодически приостанавливающееся развитие глубинной речной эрозии. В силу своей большей разрушающей способности (как механическое разрушение, так и растворение) глубинная эрозия заметно опережала развитие карстового процесса, и в днищах долин-дрен карстовые формы рельефа не успевали развиваться в достаточной степени. Выполаживание продольных профилей рек, повлекшее за собой заметное снижение скоростей движения вод, обусловило появление первых очагов их поглощения, что вызвало преобладание инфильтрации над поверхностным стоком и образование поноров и воронок. Возникшие в днищах долин-дрен в нижних и средних их течениях воронки в плейстоцене были погребены под аллювиальными и делювиально-пролювиальными осадками.

Из сказанного следует, что на участках долин рек и ручьев с каньонообразными поперечниками в плиоцен-плейстоценовое время глубинная эрозия преобладала в развитии над карстовым процессом. В верховьях же рек, ручьев и логов карст на всем этом отрезке времени развивался однонаправленно и карстопроявления здесь получили наибольшее распространение. Они успели здесь сформироваться даже в относительно труднорастворимых глинистых известняках, хотя и в значительно меньшей степени.

Еще одной особенностью распространения карстовых форм рельефа на плато, связанной с ходом его формирования, является выявленная Д.С. Соколовым [1962] общая зависимость увеличения закарстованности нижнепермских пород по направлению от ядер водораздельных пространств к долинам-дренам. Кроме того, Д.С. Соколов установил также более высокую их закарстованность на левом плиоценовом склоне долины р. Уфы в сравнении с правым, омоложенным в четвертичное время [Соколов, 1962, с. 270–274].

Нередко в днищах долин-дрен карстовые воронки выстраиваются в цепочки, образуя карстово-

эрозионные лога с понорами, переводящими поверхностный сток в подземный. Глубина поноров иногда достигает 30 м.

На Уфимском плато имеются и типично карстовые лога, сформированные в зоне поверхностной циркуляции вод, наиболее характерными из которых являются «Черные лога» на междуречье Яман-Елга–Сырая Кирьзя. Длина их колеблется от 1.5 до 4.6 км при ширине 150–600 м, склоны их крутые, часто обрывистые.

Примечательными формами карста на плато являются также исчезающие ручьи и реки. Установлено увеличение их встречаемости с севера на юг, что связано с возрастанием в этом направлении тектонической трещиноватости пород. Наиболее типичным суходолом является суходол Яман-Елга. Поверхностный сток по р. Яман-Елга имеется лишь в самом ее верховье, вблизи хребта Кара-Тау, и в приустьевой части, на отрезке в 16 км от впадения ее в р. Уфу [Мартин, 2002].

Еще одной достопримечательностью Уфимского плато является наличие на его территории высокодебитных карстовых родников. Наиболее крупные из них находятся на южной окраине плато и связаны с зоной сифонной циркуляции карстовых вод. Хорошо известны родники Красный Ключ и Сарва, которые выходят из глубоких карстовых колодцев (рис. 2, 3).

Родник Красный ключ — крупнейший карстовый родник мира. Максимальный зафиксированный его дебит — 58.0 м³/с, минимальный — 5.12 м³/с, средний — 12.46 м³/с [Мартин, 2002]. Он считается самым крупным по дебиту родником России и вторым в Европе после родника Воклюз во Франции (22 м³/с–120 м³/с).

С 1991 г. дайверами неоднократно предпринимались попытки пройти сифон родника Красный ключ, который начинается щелевидным горизонтальным отверстием (2.5×1 м) в подножье колодца на глубине 39 м. К настоящему времени усилиями А. Пластинина (1991 г.), П. Миненкова (1994 г.), Ю. Базилевского, А. Шумейко, А. Быкова, И. Галайды, Р. Прохорова (2001 г.) и В. Федорова (2016–2017 гг.) сифон пройден и исследован вглубь карстового массива на протяжении 180 м и на глубину 70 м.

Происхождение родника Красный ключ обусловлено наличием палеодолины р. Уфы, на что указывали еще А.Г. Лыкошин и Д.С. Соколов [1954, 1957] при изысканиях под Павловскую ГЭС. Подземные воды, формирующиеся в нижнепермских известняках по левобережью р. Уфы, подпруживаются глинистыми плиоценовыми отложениями

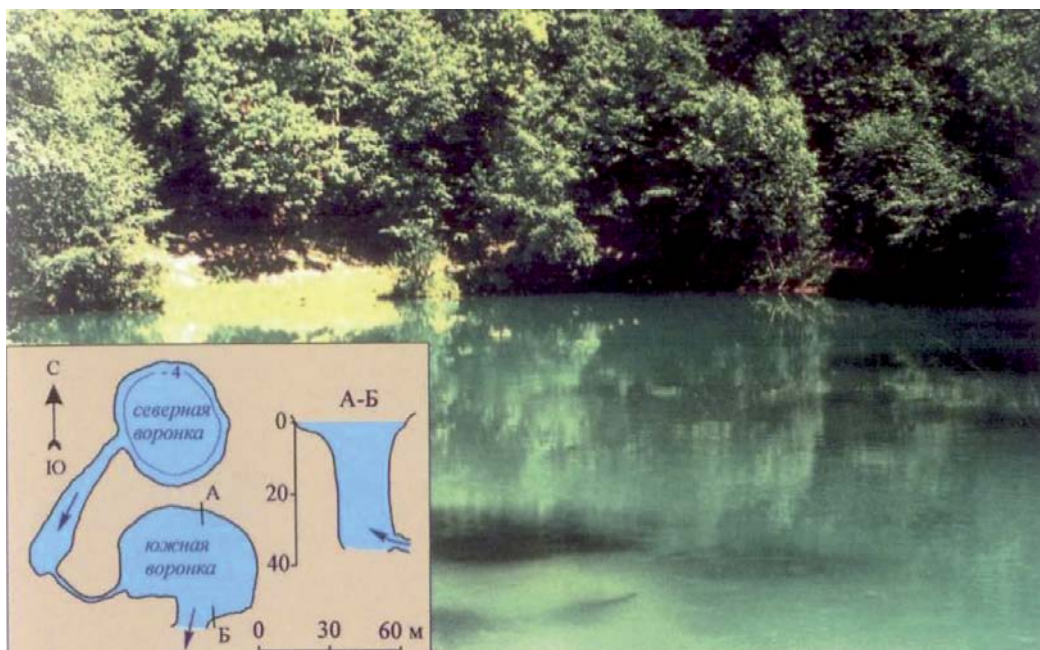


Рис. 2. Родник Красный ключ

Врезка А.И. Смирнова, по данным А. Пластинина, С. Колоколова, А. Желякова [Абдрахманов и др., 2002].

Fig. 2. Krasny Kliuch spring

Insert by A.I. Smirnov, according to A. Plastinin, S. Kolokolov, A. Zhelyakov [Abdrakhmanov et al., 2002].

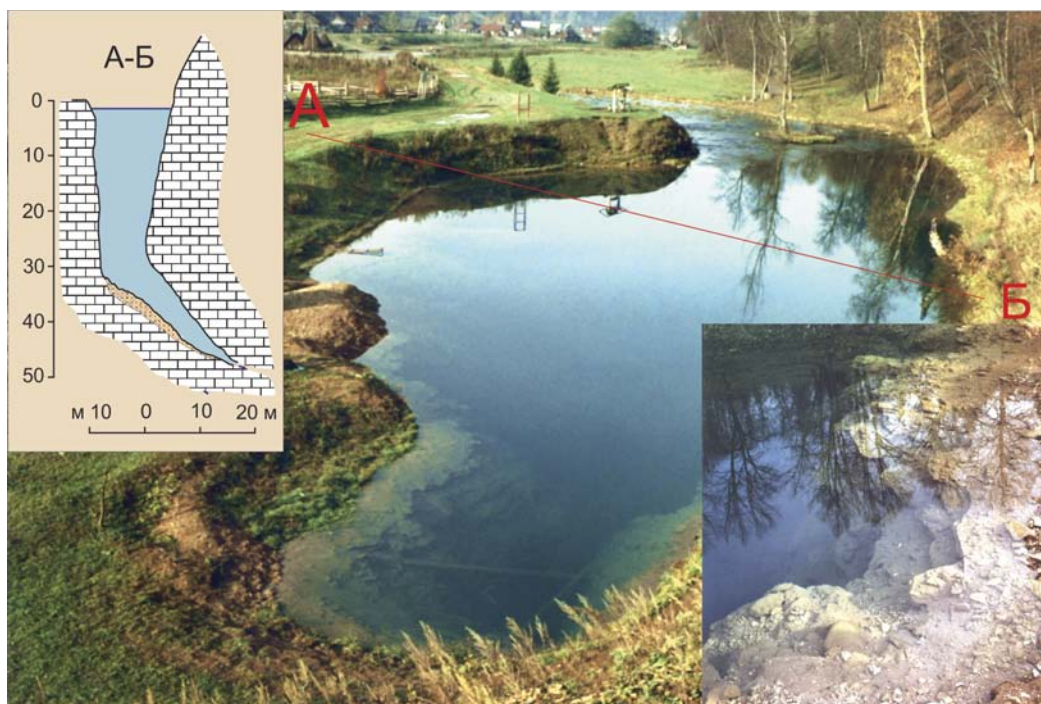


Рис. 3. Родник Сарва

Врезка А.И. Смирнова, по данным Р. Прохорова, И. Галайды, А. Быкова [Абдрахманов и др., 2002].

Fig. 3. Sarva spring

Insert by A.I. Smirnov, according to R. Prokhorov, I. Galayda, A. Bykov [Abdrakhmanov et al., 2002].

палеодолины, препятствующими их разгрузке в реку, в результате чего они концентрированным потоком движутся вдоль контакта нижнепермских и плиоценовых пород вниз по реке, разгружаясь восходящим карстовым родником.

Иное происхождение имеет родник Сарва с максимальным зафиксированным дебитом $1.9 \text{ м}^3/\text{с}$. Расположен он в днище эрозионно-карстового лога и образование его связано с разгрузкой карстовых вод, концентрирующихся под его днищем.

Сифон родника Сарва также обследован дайверами. На сегодня он пройден и исследован на протяжении 250 м и на глубину 72 м (А. Пластинин, 1991 г.; А. Быков, И. Галайда, Р. Прохоров, 2001 г.; В. Федоров, 2017 г.).

Из-за хорошей связи области питания и разгрузки карстовых вод и слабой их защищенности от загрязнения «сверху» весной и в периоды летних затяжных дождей мутность воды карстовых родников резко увеличивается и превышает ПДК в несколько раз.

К зоне горизонтальной циркуляции подземных вод приурочены нисходящие нередко пластовые карстовые родники. Одним из наиболее крупных и известных из них является родник Тюба в подножье правого склона долины р. Яман-Елга с максимальным зафиксированным дебитом $0.39 \text{ м}^3/\text{с}$.

В зоне вертикального нисходящего движения подземных вод встречаются «подвешенные» карстовые родники. Приурочены они к логам 2-го и 3-го порядков по отношению к р. Уфе. Некоторые из них выходят на склонах логов с превышением до 30 м над их тальвегами. Образование их обусловлено наличием кремнистых и глинистых прослоев известняков, формирующих местные водоупоры.

Крупные карстовые пещеры на плато относительно редки. На 01.01.2020 в его пределах известно только 9 пещер протяженностью более 100 м.

Самой протяженной (621 м) пещерой Уфимского плато является пещера Урмантау (Усть-Атавская 1), заложенная в органогенных известняках средней толщи иргинского горизонта нижнеартинского подъяруса. Вход в нее в виде овала размером $1.0 \times 1.5 \text{ м}$ находится в верхней части правого склона долины р. Юрюзань с превышением над рекой 60 м. Пещера представляет собой лабиринт каньоно- и туннелеобразных коридоров на двух уровнях, наличие которых обусловлено прослоями глинисто-кремнистых известняков.

Пещеры Уфимского плато — горизонтальные или полого-горизонтальные: Неожиданная (длиной 301 м), Агерьявская (181 м), Биязская (Ночная,

Стекланная), Ильинская, Концертная, Павловская, Саргаибская (по $\sim 100 \text{ м}$). Основная их часть сформирована в органогенных известняках артинского (средняя толща иргинского горизонта) и сакмарского (юрюзанская свита) ярусов.

Входы пещер находятся на различных абсолютных отметках без какой-либо заметной их приуроченности к определенному высотному интервалу и с различным превышением над днищами долин-дрен. Так, пещера Неожиданная активно формируется в настоящее время в днище левого отвержка суходола Красный камень, а пещера Концертная, вступившая в завершающую инфильтрационно-сухую стадию своего развития, находится в верхней части правого склона долины р. Юрюзань с превышением над рекой 105 м.

Пещерные уровни на склонах долин-дрен сформированы, по-видимому, «подвешенными» карстовыми водотоками.

Среди карстовых пещер плато следует особо отметить пещеру Сабакаевскую 1-ю, заложенную в скале Сабакай в известняках юрюзанской свиты сакмарского яруса. Протяженность ее 180 м. Пещера примечательна тем, что она является комплексным памятником природы регионального значения (Постановление Совета Министров Башкирской АССР от 17.08.1965 № 465, Постановление правительства Республики Башкортостан от 11.04.2018 № 163). В скале Сабакай имеется еще две мелкие пещеры Сабакаевская 2-я и 3-я длиной 28 м и 17 м соответственно.

Карстоопасность территории Уфимского плато низкая [Смирнов, 2015] и оценивается как потенциально опасная [Смирнов, Абдрахманов, 2007].

За последние 100 лет на плато зафиксировано только пять свежих карстовых провалов с достоверной датой образования. Отрицательного воздействия на здания и сооружения они не оказали, чрезвычайных ситуаций не вызвали.

К истории картографирования карста Уфимского плато

В 1960–1980-х годах при гидрогеологической съемке масштаба 1:200 000 [Алексеев, Муртазин, 1967 г.; Шевченко, Сапожников, 1969 г.; Беляев, Еремина, 1971 г.; Сеницын, Шевченко, 1978 г.] по территории съемочных листов составлялись карты и схемы карста. Первая же сводная карта карста Республики Башкортостан масштаба 1:1 000 000, охватывающая и рассматриваемый регион, составлена в 1970 г. В.И. Мартиным. Она содержится

в производственном отчете Башкирского территориального геологического управления «Типы карста Башкирской АССР» [Мартин, 1970 г.]. В 1972 г. в масштабе ~1:4 000 000 (точный масштаб карты не указан) она была опубликована в монографии Гидрогеология СССР. Т. XV: Башкирская АССР [Мартин, 1972, с. 78].

Вся территория Южного Урала и Предуралья В.И. Мартиным по типу питания подземных вод отнесена к одному типу — карсту, развивающемуся в условиях умеренного питания. По условиям залегания карстующихся пород и характеру рельефа местности в границах Республики Башкортостан им выделены подтипы: равнинный на преимущественно горизонтально залегающих карстующихся породах; горный на сильно дислоцированном субстрате; равнинный на складчато-глыбовой основе. По составу карстующихся пород выделены классы: сульфатный, карбонатный и сульфатно-карбонатный, а по характеру обнаженности карстующихся пород подклассы: перекрытый, покрытый, закрытый.

В 2002 г. вышла монография «Карст Башкортостана», где приведена карта типизации карста масштаба 1:2 500 000 [Абдрахманов и др., 2002], которая для территории Уфимского плато ничем не отличается от карты карста В.И. Мартина 1972 г.

В 2005 г. в Атласе Республики Башкортостан опубликована карта карста РБ масштаба 1:2 500 000, на которой отображены типы карста В.И. Мартина по характеру рельефа и условиям залегания карстующихся пород, составу карстующихся пород и дополнительно к ним отображена пораженность территории поверхностными проявлениями карста [Смирнов, 2005б].

Дальнейшее картографическое отображение типизации карста Южного Урала и Предуралья в масштабе 1:2 500 000 представлено в работе «Карстоопасность территории Республики Башкортостан» [Смирнов, Абдрахманов, 2007]. В этой работе, наряду с оценкой карстоопасности территории РБ, на мелкомасштабной схеме детализированы и отражены типы карста по условиям питания подземных вод, согласно которой (по [Смирнов, 2004]) Уфимское плато отнесено к обстановке избыточного увлажнения.

Таким образом, в настоящее время, как для рассматриваемого региона, так и для всей территории РБ, многолетними исследованиями достаточно четко определены подходы к типизации карста по территории, однако сводная изданная карта карста Башкортостана крупнее масштаба 1:2 500 000 на сегодня отсутствует. Сводная же карта карста

В.И. Мартина масштаба 1:1 000 000 составлена почти 50 лет тому назад, на сегодня не издана и имеется только в геологических фондах.

Карта карста Уфимского плато

Карта карста Уфимского плато составлена в масштабе 1:500 000 в системе координат ВГС-84. Она входит составной частью в ГИС-проект «Карст Южного Урала и Предуралья» и вслед за разработанной ранее [Смирнов, 2018] и апробированной [Смирнов, Аглетдинова, 2020] картой сульфатного карста является следующим этапом его создания.

В настоящее время преимущество применения ГИС-технологий для картографического отображения любых объектов уже не требует обоснований, поскольку они особенно в последние десятилетия широко и активно используются в различных сферах деятельности [Смирнов, Дурнаева, Абдрахманов, 2018]. Существует много программных продуктов зарубежного и отечественного производства, позволяющих создавать ГИС-проекты различного содержания (ArcGIS, ГИС ActiveMap GIS, ГИС «ИнГЕО» и др.).

Для создания ГИС-проекта «Карст Южного Урала и Предуралья» выбрана геоинформационная система ГИС «Карта 2011» (КБ «Панорама», г. Москва). Определяющими факторами для выбора этого программного продукта послужили:

- Постановление Правительства Российской Федерации от 16.11.2015 № 1236 «Об установлении запрета на допуск программного обеспечения, происходящего из иностранных государств, для целей осуществления закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд»;
- наличие в системе встроенного цифрового классификатора geology.rsc, который предназначен для создания специальных инженерно-геологических ГИС-объектов, в том числе проявлений карста [Смирнов, 2018].

Следует отметить, что классификатор geology.rsc по содержанию является далеко не полным, что потребовало от авторов внесения в него дополнительных наименований объектов и их кодов.

Содержание, принципы и методы построения карты Уфимского плато приняты такими же, как и для карты сульфатного карста Южного Предуралья. К этому можно лишь добавить, что главной целью при ее составлении являлось максимально возможное отображение в масштабе карты (1:500 000)

проявлений карста, позволяющих судить о закономерностях его развития. В то же время рабочим масштабом карты являлся масштаб 1:100 000, в котором осуществлялся и сбор фактического материала.

На рис. 4 представлено окно рабочей карты Уфимского плато в ГИС «Карта 2011» масштаба 1:100 000, на которой отображено распространение площадей типов карста по степени перекрытости карстующихся нижнепермских карбонатов некарстующимися породами и показаны поверхностные карстопроявления. На врезке окна для примера приведена семантика (таблица данных объекта, связанная с пространственным его отображением на карте) по карстовому провалу с фиксированным временем образования.

Сводная карта карста Уфимского плато представлена на рис. 5, на ней авторы постарались

отобразить наиболее типичные проявления карста, охарактеризованные выше.

Принципиальным отличием составленной карты карста рассматриваемого региона от всех ранее составленных карт карста Уфимского плато является то, что на ней нашли картографическое отображение выделенные типы карста по степени перекрытости карстующихся пород некарстующимися.

Из рис. 5 видно, что максимальная пораженность территории карстопроявлениями, под которой понимается суммарная величина изменения геологической среды в результате развития карста (для Уфимского плато) за неоген-четвертичное время, характерна для прикрытого карста с участками открытого, а минимальная — для покрытого и перекрытого. Поверхностные карстопроявления, сформированные в нижнепермских карбонатах,

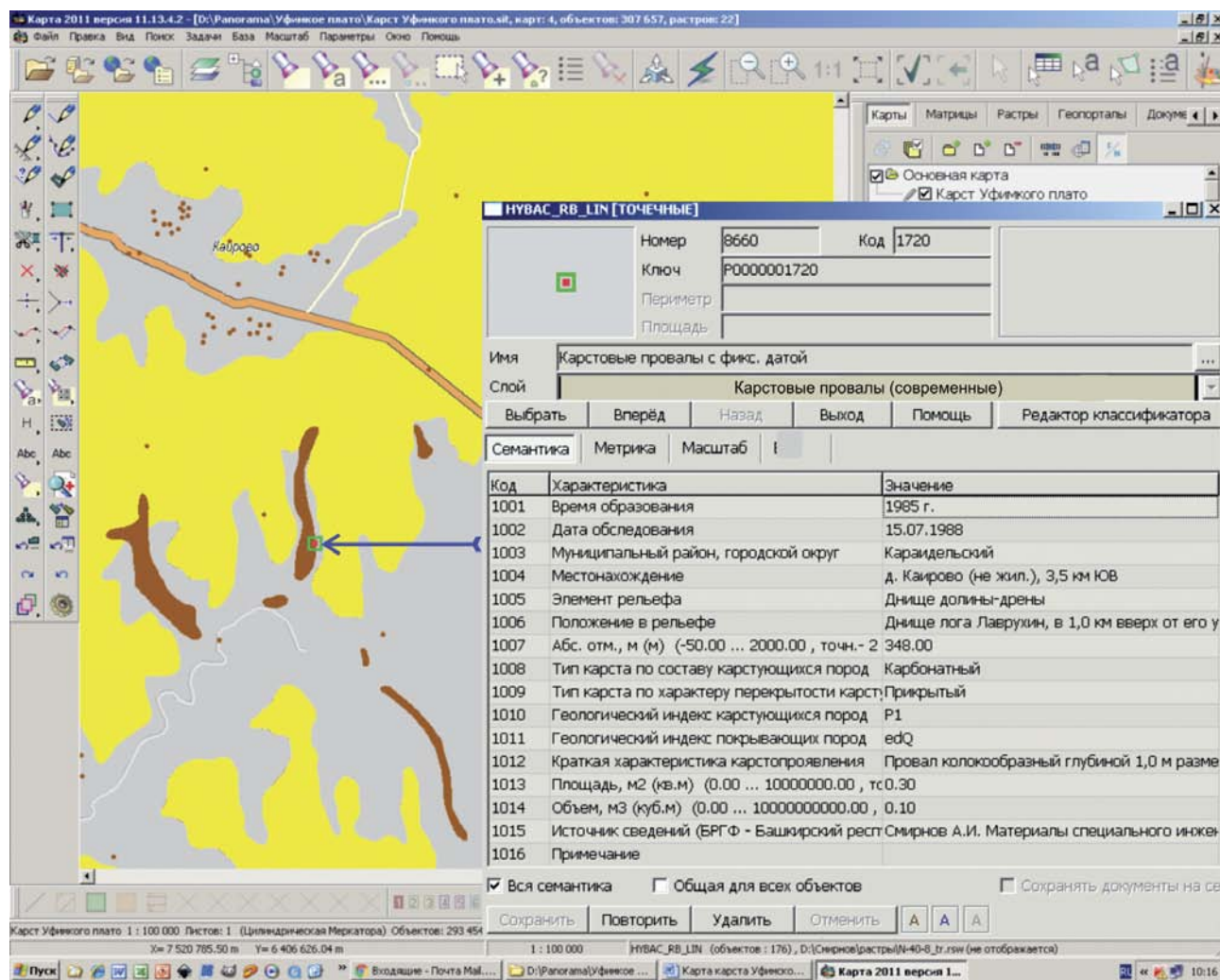


Рис. 4. Рабочее окно ГИС-проекта «Карст Уфимского плато» масштаба 1:100 000.

Fig. 4. Working window of the GIS project “Karst of the Ufa Plateau” at a scale of 1:100 000

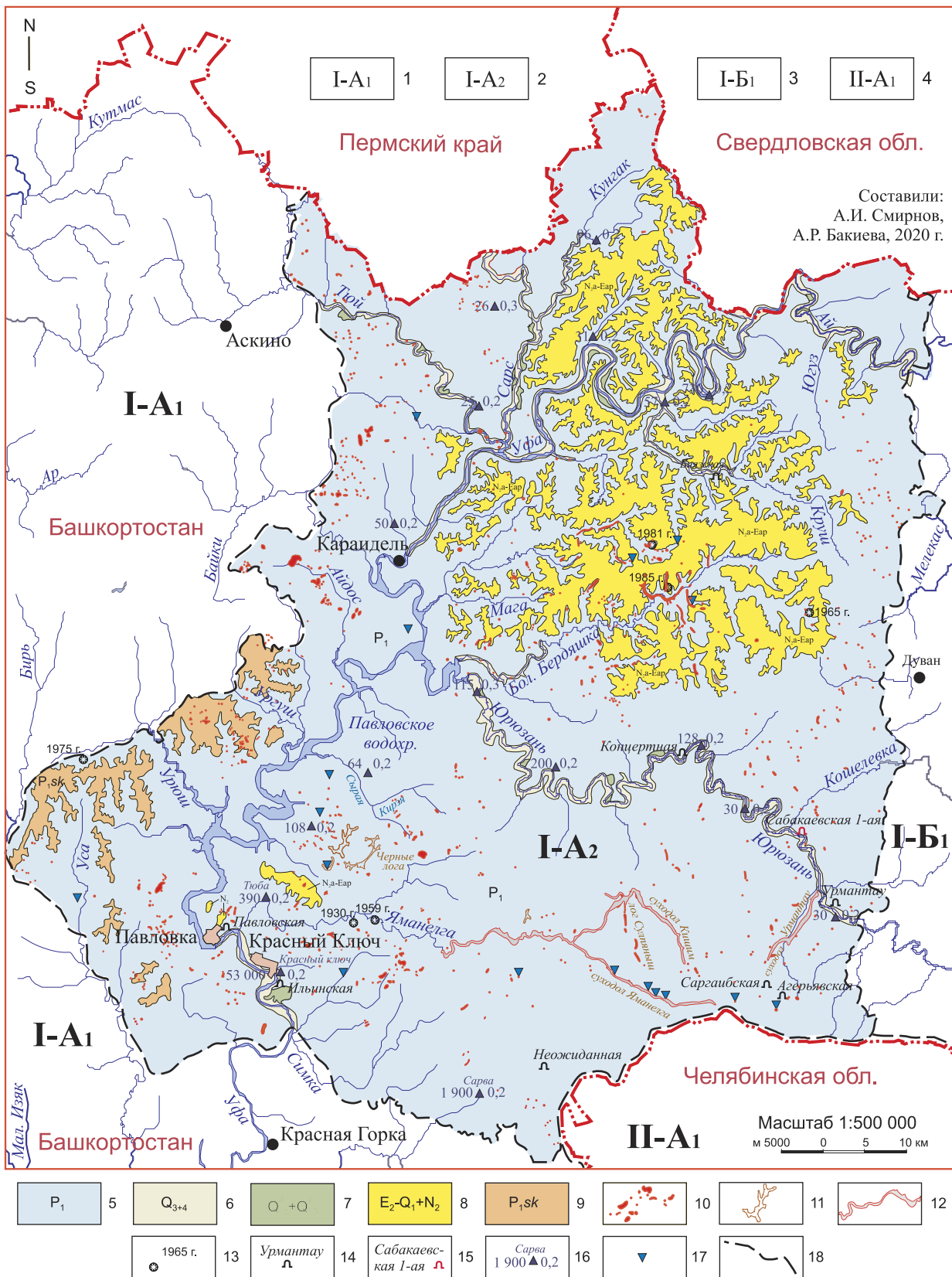


Рис. 5. Карта карста Уфимского плато
Fig. 5. Map of the karst of the Ufa plateau

Условные обозначения к рис. 5: Карстовая страна Восточно-Европейской равнины (I). Равнинный карст в горизонтально- и пологозалегающих породах Предуралья (I-A): 1 — сульфатный и сульфатно-карбонатный карст Прибельской равнины (I-A₁), 2 — карбонатный карст Уфимского плато (I-A₂). Равнинный и предгорный карст Предуралья в пологозалегающих и слабо дислоцированных породах I-B). 3 — карбонатный и кластокарст Приайской равнины (I-B). Горный карст в сильно дислоцированных образованиях Урала (II-A). 4 — карбонатный карст низкогогорья западного склона Урала (II-A₁). Типы карста по характеру перекрытости карстующихся нижнепермских пород некарстующимися: 5 — прикрытый — под маломощным покровом элювиально-делювиальных современных образований с участками открытого (голоого) на площадях выхода нижнепермских карстующихся пород на поверхность или нахождения их под почвенно-растительным слоем (средиземноморский), перекрытый — под аллювиальными отложениями долин рек, 6 — в границах пойм и I надпойменных террас, 7 — под аллювиальными отложениями долин рек в границах II и III надпойменных террас, 8 — покрытый — под плиоцен-плейстоценовыми рыхлыми слабопроницаемыми элювиально-делювиальными и морскими отложениями, 9 — закрытый — под скальными и полускальными преимущественно нерастворимыми нижнепермскими породами соликамского горизонта. Проявления карста: 10 — карстовые поля и отдельные карстовые воронки, 11 — карстовые лога, 12 — суходолы, 13 — карстовые провалы и воронки с фиксированным временем образования, 14 — карстовые пещеры протяженностью 100 м и более, 15 — карстовые пещеры — памятники природы, 16 — высокодебитные (более 20 дм³/с) карстовые родники (слева — дебит, дм³/с, справа — минерализация, г/дм³), 17 — поноры, 18 — границы типов карста по характеру рельефа (орографическим областям).

Legend to fig. 5: Karst country of the East European Plain (I). Plain karst in horizontally and gently dipping deposited rocks of the Cis-Urals (I-A): 1 — sulfate and sulfate-carbonate karst of the Pribelskaya plain (I-A₁), 2 — carbonate karst of the Ufa plateau (I-A₂). Plain and foothill karst of the Cis-Urals in gently sloping and weakly dislocated rocks (I-B). 3 — carbonate and clastic karst of the Pri-Ay plain (I-B₁). Mountain karst in highly dislocated formations of the Urals (II-A). 4 — carbonate karst of the low mountains of the western slope of the Urals (II-A₁). Types of karst by the nature of overlap of karst Lower Permian rocks by non-karst ones: 5 — covered — under a thin cover of eluvial-deluvial modern formations with areas of open (bare) in areas where lower permian karst rocks emerge on the surface or situated under the soil-vegetation layer (mediterranean), covered — under alluvial deposits of river valleys, 6 — within the boundaries of floodplains and first above-floodplain terraces, 7 — under alluvial deposits of river valleys within the boundaries of II and III above-floodplain terraces, 8 — covered — under Pliocene-Pleistocene loose, weakly permeable eluvial-deluvial and marine deposits, 9 — closed — under rocky and semi-rocky mostly insoluble Lower Permian rocks of the Solikamsk horizon. Karst manifestations: 10 — karst fields and separate karst sinkholes, 11 — karst logs, 12 — dry lands, 13 — karst sinkholes and sinkholes with a fixed formation time, 14 — karst caves 100 m long or more, 15 — karst caves — natural monuments, 16 — high flow rate (more than 20 dm³/s) karst springs (left — flow rate, dm³/s, right — salinity, g/dm³), 17 — ponors, 18 — boundaries of karst types by the nature of the relief (orographic areas)

в северной половине региона заполнены и снивелированы суглинисто-глинистыми осадками общесыртовой свиты, а в днищах долин рек — плейстоценовым аллювием.

В условиях закрытого карста четко прослеживается зависимость пораженности карстопоявлениями от мощности бронирующих закарстованные нижнепермские карбонаты отложений соликамского горизонта. Карст на поверхности проявляется только при мощности терригенно-карбонатных пород менее 30 м на Ургуш-Урюшском междуречье.

Аналогичные закономерности развития карста получены нами и для других типов карста Башкортостана: сульфатного равнинного [Смирнов, 2018], предгорного карбонатного и кластокарста [Смирнов, Абдрахманов, 2018]. То есть выявленные особенности распространения карстопоявлений на Уфимском плато характерны для всего Южного Предуралья.

Выводы

Составленная карта карста Уфимского плато с использованием ГИС-технологий войдет составной частью в ГИС-проект «Карст Южного Урала и Предуралья» и является очередным этапом составления современной среднemasштабной карты карста Республики Башкортостан. На ней представлены наиболее типичные карстопоявления рас-

сматриваемого региона, отражающие особенности распространения и развития карста.

Карта может быть полезна и востребована при планировании строительства новых отдельных социально-экономических объектов, при разработке генеральных схем расширения существующих населенных пунктов и проектировании новых, планировании строительства протяженных линейных объектов (продуктопроводов, ЛЭП и т.п.) и др.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы № 0246–2019–0086.

Список литературы

- Абдрахманов Р.Ф., Мартин В.И., Попов В.Г., Рождественский А.П., Смирнов А.И., Травкин А.И. Карст Башкортостана. Уфа, 2002. 383 с.
- Данукалов Н.Ф. О западной границе тектонической структуры Уфимского плоскогорья на уровне современного денудационного среза в пределах Башкирской АССР // Вопросы геоморфологии и геологии Башкирии. Сборник 2. Уфа: БФАН СССР, 1959. С. 128–131.
- Лыкошин А.Г. Павловская плотина на р. Уфа // Геология и плотины. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1959. Т. 1. С. 35–60.
- Лыкошин А.Г., Соколов Д.С. Развитие карста в юго-западной части Уфимского плато // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1954. Т. 29, № 1. С. 35–47.
- Лыкошин А.Г., Соколов Д.С. Красный Ключ // Природа. 1957. № 8. С. 86–88.
- Мартин В.И. Карст // Гидрогеология СССР. Т. 15: Башкирская АССР / Под ред. Е.А. Зуброва. М.: Недра, 1972. С. 77–91.

Мартин В.И. Карстовые бассейны Волго-Уральской антеклизы и Предуралья прогиба // Р.Ф. Абдрахманов, В.И. Мартин, В.Г. Попов, А.П. Рождественский, А.И. Смирнов, А.И. Травкин. Карст Башкортостана. Уфа, 2002. С. 74–109.

Плиоцен и плейстоцен Волго-Уральской области / Под ред. М.А. Камалетдинова, В.Л. Яхимович. М.: Наука, 1981. 161 с.

Рождественский А.П. Новейшая тектоника и развитие рельефа Южного Приуралья. М.: Наука, 1971. 286 с.

Смирнов А.И. Типы карста и современная активность его развития на Южном Урале и в Предуралье // Карстование — XXI век: теоретическое и практическое значение: Мат-лы междунар. симпоз. Пермь, 2004. С. 90–94.

Смирнов А.И. Генетические типы и формы рельефа // Атлас Республики Башкортостан. Уфа, 2005а. С. 65.

Смирнов А.И. Карст // Атлас Республики Башкортостан. Уфа, 2005б. С. 60.

Смирнов А.И. Оценка карстовой опасности Южного Урала и Предуралья // Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах: Мат-лы междунар. симпоз. Пермь, 2015. С. 194–198.

Смирнов А.И. Карта сульфатного карста Южного Предуралья (содержание, принципы и методика построения) // Инженерная геология. 2018. Т. 13, № 1–2. С. 86–94. DOI: 10.25296/1993-5056-2018-13-1-2-86-94.

Смирнов А.И., Абдрахманов Р.Ф. Карстоопасность территории Республики Башкортостан // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2007. Т. 12, № 2. С. 5–11.

Смирнов А.И., Абдрахманов Р.Ф. Карст Приайской равнины в Южном Предуралье // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий: Мат-лы 12-й Межрег. науч.-практ. конф., 2018 г. [Эл. издание]. СПб: Свое издательство, 2018. С. 406–411.

Смирнов А.И., Аглетдинова Э.Р. Карст Аургазинского района в Южном Предуралье // American Scientific Journal. 2020. № 1–2(33). С. 4–10.

Смирнов А.И., Дурнаева В.Н., Абдрахманов Р.Ф. ГИС-технологии в изучении опасных геологических процессов Южного Урала и Предуралья // Геологический вестник. 2018. № 3. С. 137–143.

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

Ткачев В.Ф., Толстунова Н.Н. Орографическая схема // Гидрогеология СССР, Т. XV: Башкирская АССР // Под ред. Е.А. Зуброва. М.: Недра, 1972. С. 19.

Турышев А.В. Карст Уфимского плато (гидродинамические и геохимические закономерности развития карста в сульфатных и карбонатных породах): Дис. ... канд. геол.-мин. наук. Кунгур, 1967. 400 с.

Шевченко А.М. Подземные воды пермских отложений в южной части Уфимского плато в связи с перспективой использования их для водоснабжения: Дис. ... канд. геол.-мин. наук. / Казанский гос. ун-т им. В.И. Ульянова-Ленина. Казань, 1973. 216 с.

References:

Abdrakhmanov R.F., Martin V.I., Popov V.G., Rozhdestvensky A.P., Smirnov A.I., Travkin A.I. (2002) *Karst Bashkortostana* [Karst of Bashkortostan]. Ufa, 383 p. (In Russian).

Danukalov N.F. (1959) On the western boundary of the tectonic structure of the Ufa flatland at the level of the modern denudation section within the Bashkir ASSR. *Voprosy geomorfologii i geologii Bashkirii. Sbornik 2* [Questions of geomorphology and geology of Bashkiria. Collection 2]. Ufa, BFAN SSSR, 128-131. (In Russian).

Lykoshin A.G. (1959) Pavlovsk dam on the Ufa river. *Geologiya i plotiny* [Geology and dams]. Moscow; Leningrad, 1, 35-60. (In Russian).

Lykoshin A.G., Sokolov D.S. (1954) Development of karst in the southwestern part of the Ufa plateau. *Bulletin MOIP. Department of geology.* 29(1), 35-47. (In Russian).

Lykoshin A.G., Sokolov D.S. (1957) Red Spring. *Priroda – Nature*, (8), 86-88. (In Russian).

Martin V.I. (1972) Karst. *Gidrogeologiya SSSR. Bashkirskaya ASSR* [Hydrogeology of the USSR. Bashkir ASSR]. Ed. E.A. Zubrov. Moscow, Nedra Publ., 15, 77-91. (In Russian).

Martin V.I. (2002) Karst basins of the Volga-Ural anticline and Pre-Uralian trough. Abdrakhmanov R.F., Martin V.I., Popov V.G., Rozhdestvensky A.P., Smirnov A.I., Travkin A.I. *Karst Bashkortostana* [Karst of Bashkortostan]. Ufa, 74-109. (in Russian).

Pliocen i pleistocen Volgo-Ural'skoi oblasti (1981) [Pliocene and Pleistocene of the Volga-Ural region]. Eds V.L. Yakhimovich, M.A. Kamaletdinov. Moscow: Nauka Publ., 161 p. (In Russian).

A.P. Rozhdestvensky (1971) *Noveishaya tektonika i razvitie rel'efa Yuzhnogo Priural'ya* [Newest tectonics and development of the relief of the Southern Urals]. Moscow, Nauka Publ., 286 p. (In Russian).

Shevchenko A.M. (1973) *Podzemnye vody permskih otlozhenii v yuzhnoi chasti Ufinskogo plato v svyazi s perspektivoi ispol'zovaniya ih dlya vodosnabzheniya. Dis. cand. geol.-min. nauk* [Groundwaters of Permian deposits in the southern part of the Ufa plateau in connection with the prospect of using their water supply. Cand. geol. and min. sci. diss]. Kazan', University, 216 p. (In Russian).

Smirnov A.I. (2004). Types of karst and modern activity of its development in the Southern Urals and in the Cis-Urals. *Karstovedenie — XXI vek: teoreticheskoe i prakticheskoe znachenie. Mat-ly mezhdunar. simpoz.* [Karst Studies – XXI Century: Theoretical and Practical Significance: Materials of the International Symposium]. Perm, 90-94. (In Russian).

Smirnov A.I. (2005a) Genetic types and landforms. *Atlas Respubliki Bashkortostan* [Atlas of the Republic of Bashkortostan]. Ufa, p. 65. (In Russian).

Smirnov A.I. (2005b) Karst. *Atlas Respubliki Bashkortostan* [Atlas of the Republic of Bashkortostan]. Ufa, p. 60. (In Russian).

Smirnov A.I. (2015) Assessment of karst danger of South Ural and Cis-Urals. *Ekologicheskaya bezopasnost' i stroitel'stvo v karstovykh raionah. Mat-ly mezhdunar. simpoz* [Environmental safety and construction in karst regions. Materials of the

international symposium, Russia, Perm, on May 26–29]. Perm, 194-198. (In Russian).

Smirnov A.I. (2018) Card of a sulphatic karst of the Southern Cis-Urals (contents, principles and technique of construction). *Inzhenernaya geologiya – Engineering geology*, **13**(1-2), DOI: 10.25296/1993-5056-2018-13-1-2-86-94. (In Russian).

Smirnov A.I., Abdrakhmanov R.F. (2007) Karst hazard of the territory of the Republic of Bashkortostan. *Vestnik AN RB – Herald of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan*, **12**(2), 5-11. (In Russian).

Smirnov A.I., Abdrakhmanov R.F. (2018) Karst of the Priai plain in the Southern Cis-Urals. *Geologiya, poleznye iskopaemye i problemy geoekologii Bashkortostana, Urala i sopredel'nyh territorii: Mat-ly 12-i Mezhhreg. nauch.-prakt. konf.* [Geology, minerals and problems of geoecology of Bashkortostan, the Urals and adjacent territories: Materials of the 12th Mezhhreg. scientific-practical conf.]. – Saint-Petersburg, Own Publishing House, 406-411. Available at: http://ig.ufaras.ru/File/conf2018/Conf_2018_74.pdf. (accessed 19 October 2020) (In Russian).

Smirnov A.I., Agletdinova E.R. (2020) Karst of the Aurgazinsky region in the Southern Urals. *American Scientific Journal*, (1-2), 4-10. (In Russian).

Smirnov A.I., Durmaeva V.N., Abdrakhmanov R.F. (2018) GIS-technologies in the study of hazardous geological processes in the Southern Urals and the Cis-Urals. *Geologicheskii vestnik – Geological Bulletin*, (3), 137-143. (In Russian).

Sokolov D.S. (1962) *Osnovnye usloviya razvitiya karsta* [Main Conditions of Karst Development]. Moscow: Gosgeoltekhizdat, 322 p. (In Russian).

Tkachev V.F., Tolstunova N.N. (1972) Orographic schema. *Gidrogeologiya SSSR. Bashkirskaya ASSR* [Hydrogeology of the USSR. Bashkir ASSR]. Ed. E.A. Zubrov. Moscow, Nedra Publ., **15**, P. 19. (In Russian).

Turyshv A.V. (1967) *Karst Ufimskogo plato (gidrodinamicheskie i geokhimicheskie zakonomernosti razvitiya karsta v sul'fatnyh i karbonatnyh porodah)*. *Dis. cand. geol.-min. nauk* [Karst of the Ufa plateau (hydrodynamic and geochemical patterns of the development of karst in sulfate and carbonate rocks). Cand. geol. and min. sci. diss]. Kungur, 400 p. (In Russian).

Сведения об авторах:

Смирнов Александр Ильич, кандидат геол.-мин. 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: smalil@mail.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: albina.galiullina@mail.ru

About the authors:

Smirnov Alexandr Il'ich, 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: smalil@mail.ru

Bakieva Al'bina Radikovna, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: albina.galiullina@mail.ru