

## ТИПЫ КАРСТА И ОСОБЕННОСТИ ЕГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ НА ЮЖНОМ УРАЛЕ И В ПРЕДУРАЛЬЕ

© 2019 г. А. И. Смирнов, Р. Ф. Абдрахманов, В. Н. Дурнаева

**Реферат.** Карстовый процесс является результатом длительного естественно-исторического процесса формирования геологической среды. Литологический состав карстующихся пород predetermined наибольшую пораженность территории поверхностными карстопроявлениями в районах развития сульфатного карста в Южном Предуралье, а на Южном Урале наибольшую концентрацию карстовых пещер в условиях развития карбонатного карста. При этом история геологического развития региона в новейшее время обусловила максимальную встречаемость более древних карстовых пещер и погребенных карстовых форм на Южном Урале в сравнении с Южным Предуральем.

История формирования рельефа в неоген-четвертичное время во многом predetermined также степень и характер перекрытости карстующихся пород некарстующимися, существенно определяющие интенсивность распространения карстопроявлений и современную активность провалообразования. Установлены предельные мощности покрывающих карстующиеся породы отложений, при которых карст проявляется на поверхности.

Особую опасность представляют карстовые и суффозионно-карстовые процессы в гипсах, ведущие к образованию карстовых провалов и, как следствие, к деформации жилых и промышленных объектов. Существенно интенсифицирует карст хозяйственная деятельность человека, которая коренным образом изменяет гидрогеодинамическую и гидрогеохимическую ситуацию как в самих закарстованных породах, так и в выше- и нижезалегающих толщах.

**Ключевые слова:** распространение карста, карбонатный карст, сульфатный карст, кластокарст, техногенез, химический состав подземных вод, активизация карста, карстовая опасность

## TYPES OF KARST AND FEATURES OF ITS DISTRIBUTION IN THE SOUTHERN URALS AND IN THE CIS-URALS

A. I. Smirnov, R. F. Abdrakhmanov, V. N. Durnaeva

**Abstract.** The karst process is the result of a long natural-historical process of formation of the geological environment. The lithological composition of karst rocks predetermined the greatest impact on the territory by surface karst occurrences in the areas of sulphate karst development in the Southern Cis-Urals, and in the Southern Urals the highest concentration of karst caves in conditions of carbonate karst development. At the same time, the history of the geological development of the region in recent times has led to the maximum occurrence of ancient karst caves and buried karst forms in the Southern Urals in comparison with the Southern Cis-Urals.

The history of relief formation in the Neogene-Quaternary time largely predetermined the degree and nature of overlap of karst rocks by non-karst, significantly determining the intensity of the distribution of karst manifestations and the modern activity of sinkhole formation. The limiting thicknesses of the sediments covering karst rocks, at which the karst appears on the surface, have been established.

Of particular danger are karst and suffosion-karst processes in gypsum, leading to the formation of karst sinkholes and, as a result, to deformation of residential and industrial facilities. Karst significantly intensifies human economic activity, which radically changes the hydrogeodynamic and hydrogeochemical situation in the karst-affected rocks as well as in the upper and lower strata.

**Keywords:** karst distribution, carbonate karst, sulphate karst, clastokarst, technogenesis, chemical composition of groundwater, karst activation, karst hazard

---

**Для цитирования:** Смирнов А.И., Абдрахманов Р.Ф., Дурнаева В.Н. Типы карста и особенности его распространения на Южном Урале и в Предуралье // Геологический вестник. 2019. № 2. С. 111–124. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2019-2-9>.

**For citation:** Smirnov A.I., Abdrakhmanov R.F., Durnaeva V.N. Types of karst and features of its distribution in the Southern Urals and in the Cis-Urals // *Geologicheskii vestnik*. 2019. No. 2. P. 111–124. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2019-2-9>.

## Введение

Карстовый процесс является функцией нескольких основных условий, включающих наличие растворимых водопроницаемых пород, а также движущихся подземных вод, агрессивных к этим породам [Соколов, 1962]. Эти условия зависят от ряда факторов, определяющих питание карстовых вод, их движение и разгрузку, и в конечном итоге — активность и скорость развития карстового процесса. К первой группе относятся климатические факторы (атмосферные осадки, их состав, дефицит влажности воздуха, испарение, конденсация и др.), ко второй — геологическое строение (состав пород, их трещиноватость и пр.) и геоморфологические условия (рельеф, степень его расчлененности, история его формирования и пр.), и к третьей группе — гидрогеологические условия (динамика, химический состав и режим подземных вод).

Южный Урал и Предуралье в пределах Республики Башкортостан — классический регион развития сульфатного и карбонатного карста. В пределах этого региона (рис. 1) карстующиеся породы распространены на около 50% территории, почти 30% площади поражено поверхностными карстопроявлениями, около 45% городского и не менее 20% сельского населения проживает в районах развития карста [Смирнов, 2004б]. Ежегодно здесь фиксируется образование десятков новых провалов, один раз в 5–6 лет возникают аномально крупные провалы диаметром более 15 м и глубиной более 10 м [Смирнов, 2013]. Только в пределах г. Уфы и его окрестностей за последние 50 лет зафиксировано не менее 30 случаев отказов оснований и фундаментов, связанных с карстовым процессом. При этом часть капитальных зданий, в том числе многоэтажных, была снесена даже после выполнения мер противокарстовой защиты [Карст Башкортостана, 2002].

## Материалы и методы исследования

Рассматриваемый регион (см. рис. 1) относится к карстовой стране Восточно-Европейской равнины (I) и Уральской карстовой стране (II). В первой (I) — развит равнинный карст в горизонтально и пологозалегающих породах в пределах платформенной части (I-A) и предгорный карст в пологозалегающих и слабо дислоцированных породах в пределах Предуральского прогиба (I-B). Во второй (II) — горный карст в сильно дислоцированных образованиях Центрально-Уральского поднятия

(II-A) и равнинный карст в складчато-глыбовых отложениях Зауралья в пределах Магнитогорского прогиба (II-B).

Несмотря на широкое распространение карста в целом по территории, интенсивность его по отдельным частям региона весьма различна и наиболее четко фиксируется через пораженность территории карстопроявлениями (рис. 2). Она определяет суммарную (накопленную) величину изменения геологической среды в результате развития карста за длительный промежуток времени. То есть она характеризует общий «вековой» характер развития карста и, в отличие от коэффициента закарстованности, отражает интенсивность распространения его проявлений в региональном плане [Шеко, 1982].

Здесь следует отметить, что выявление пространственных закономерностей распространения проявлений карста произведено на основе количественных показателей с использованием современных геоинформационных технологий. Сегодня они широко используются для оценки и прогноза развития наблюдаемых природных процессов, событий и явлений, пространственного и временного анализа данных, оперативного ввода и анализа информации [Абдрахманов и др., 2018].

## Результаты исследования и их обсуждение

В соответствии с последними разработками типизации карста Южного Урала и Предуралья [Абдрахманов, Смирнов, 2016; Смирнов, 2004а, 2018], по составу карстующихся пород выделяются следующие его типы: сульфатный, карбонатный, сульфатно-карбонатный и кластокарст (см. рис. 1).

Как правило, карстовый процесс протекает в толще горных пород и скрыт от непосредственного изучения. Поэтому очень часто при исследованиях закарстованных территорий первоначально обследуются формы проявления карстового процесса, которые дают ценную информацию о механизме, динамике и активности его развития. В дальнейшем она используется для определения оптимального объема работ (опробование, бурение, геофизика и др.), необходимого для решения как чисто практических задач (инженерно-геологические изыскания под строительство), так и общенаучных (геоморфологические, ландшафтные и др. исследования).

В каждом типе карста имеются специфические, часто только ему присущие, карстовые формы, характеристика которых на сегодня раскрыта, на наш

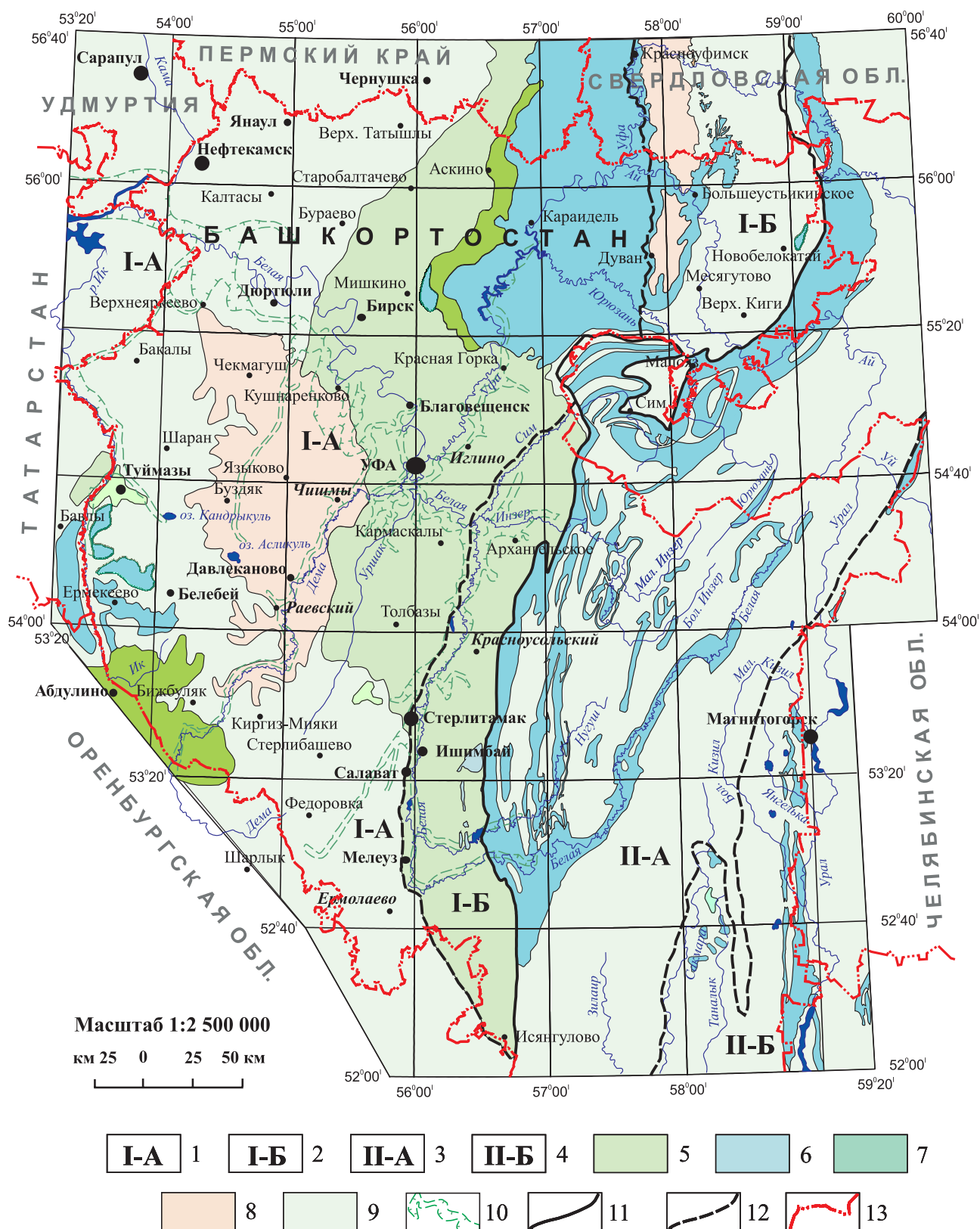


Рис. 1. Распространение карста на территории Башкортостана и прилегающих территориях

Fig. 1. Distribution of karst in the territory of Bashkortostan and adjacent territories

*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 складчатоглыбовых отложениях Зауралья. 5–8 — типы карста: 5 — сульфатный, 6 — карбонатный, 7 — сульфатно-карбонатный, 8 — кластокарст; 9 — площади с отсутствием поверхностных карстопроявлений или локальным их распространением; 10 — контур палеодолин; 11–13 — границы: 11 — карстовых стран, 12 — типов карста, 13 — субъектов РФ.*

*Legend to fig. 1. The karst country of the East European Plain (I): 1 — flat karst in the horizontal and flat-lying rocks of the Pre-Urals, 2 — flat and piedmont karst in the Pre-Urals in flat-lying and poorly stationed rocks. The Ural karst country (II): 3 — mountain karst in the heavily stationed formations of the Urals, 4 — flat karst in the fold-block sediments of the Trans-Urals. 5–8 — karst types: 5 — sulphate, 6 — carbonate, 7 — sulphate-carbonate, 8 — clastokarst; 9 — area with no surface karst manifestations or local distribution; 10 — contour paleovalley; 11–13 — boundaries: 11 — karst countries, 12 — types of karst, 13 — subjects of the Russian Federation.*

взгляд, недостаточно. Исходя из этого, в настоящей работе рассматриваются особенности распространения и развития карстопроявлений по типам карста как поверхностных, так и подземных, доступные для непосредственного исследования.

**В карстовой стране Восточно-Европейской равнины** развит главным образом сульфатный карст, в меньшей степени карбонатный и кластокарст, с подчиненным значением сульфатно-карбонатного. Эти типы карста развиваются в условиях сглаженного рельефа и спокойного (горизонтального, полгонаклонного и слабо дислоцированного) залегания горных пород. Несмотря на разнообразие карста по составу карстующихся пород, максимальная закарстованность и современная активность проявления карста на поверхности характерна для сульфатного карста.

**Сульфатный карст** в Южном Предуралье связан с гипсами кунгурского яруса нижней перми и пользуется наибольшим распространением. Проявления его представлены всеми известными формами, как поверхностными (воронки, колодцы, котловины и др.), так и подземными (ниши, гроты, пещеры и др.) при преобладающем значении первых. Частота встречаемости карстопроявлений, а следовательно и пораженность территории ими, находится в зависимости от ряда факторов, главным из которых являются история формирования рельефа.

Основные черты рельефа Южного Предуралья сформированы в новейшее время [Рождественский, 1971; Плиоцен..., 1981]. Неотектонический этап его формирования начался в конце миоцена. В раннем плиоцене произошло поднятие юго-востока Русской платформы (до 400 м), и с ним связано глубокое врезание речной сети. Расчленение территории предопределило формирование мощной зоны (150–200 м) дренирования карстующейся толщи.

В дальнейшем (в киммерийское время) отрицательные тектонические подвижки привели к подтоплению сформированных долин и накоп-

лению в них аллювиальных и лиманных осадков. В среднем акчагыле воды Каспийского моря проникли далеко вглубь Южного Предуралья и даже затапливали низкие междуречья.

В конце позднего апшерона и в раннем плейстоцене здесь существовала область озерно-делювиальной аккумуляции, в которой сформировалась общесыртовая свита. На междуречьях она выполняет неровности древнего рельефа и плащеобразно покрывает пологие склоны и низкие междуречья. В раннем плейстоцене Южное Предуралье испытало новый подъем, выразившийся в образовании прадолин рек, заполненных песчано-галечным аллювием и переуглубленных по отношению к современным до 25–30 м [Сиднев, 1985]. Это вновь активизировало дренируемость карстующихся гипсов кунгура.

В плейстоцене Южное Предуралье приобрело черты, близкие к современным, голоценовая эпоха не внесла изменений в направленность и характер развития рельефа.

На неоген-четвертичном этапе формирования рельефа Южного Предуралья и интенсивности распространения карстопроявлений следует отметить главную роль палеодолин [Абдрахманов, Попов, 2017], которые в зависимости от их строения и гидрогеологических условий могут способствовать как дренированию, так и экранированию карстующихся массивов. То есть в первом случае палеодолины активизируют развитие карста, во втором — ему препятствуют. Ход формирования рельефа предопределил также степень обнаженности карстующихся гипсов кунгура, что обусловило частоту встречаемости поверхностных карстопроявлений, и тем самым — пораженность ими различных районов региона. В этой связи особо выделяется зависимость интенсивности распространения карстовых форм рельефа и активности провалообразования от наличия покрывающих карстующиеся породы отложений, их мощности, а также от их состава и характера их водопроницаемости.

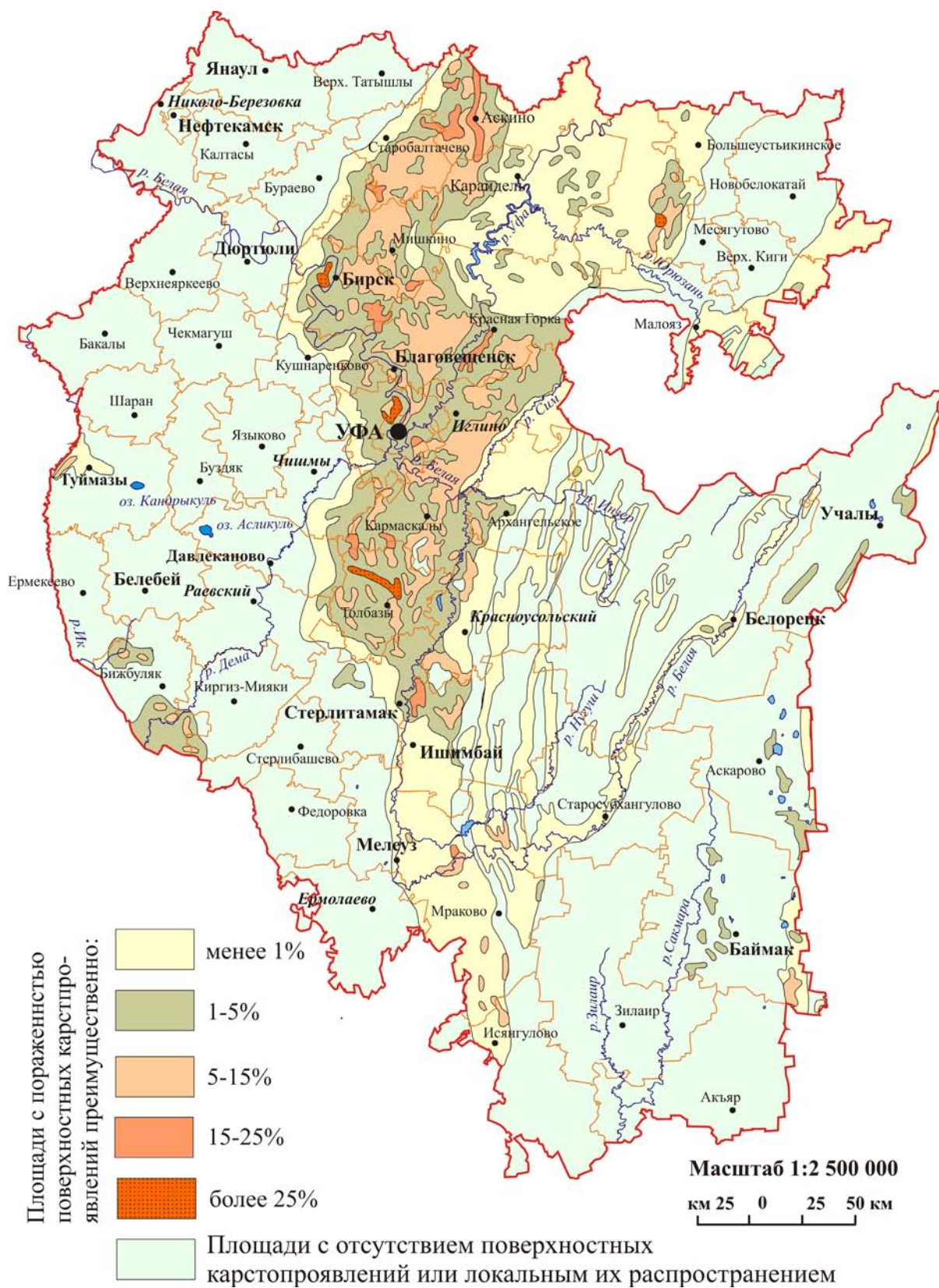


Рис. 2. Пораженность карстопроявлениями территории Республики Башкортостан

Fig. 2. The affect index of karst manifestations of the territory of the Republic of Bashkortostan

Установленные нами типы сульфатного карста по степени перекрытости карстующихся пород некарстующимися приведены таблице.

Наряду с отрицательными формами сульфатного карста в Южном Предуралье имеются уникальные положительные карстовые формы — карстовые останцы (рис. 3), сформированные на эрозионно-карстовых поверхностях днищ долин-дрен. Наиболее представлены они в устьевой части реки Аургазы. Подобные им положительные карстовые формы рельефа, как в Южном Предуралье, так и в целом в карстовой стране Восточно-Европейской равнины встречаются крайне редко.

Наиболее примечательными подземными проявлениями сульфатного карста в Южном Предуралье являются пещеры, сформированные в основном в светло-серых либо белых массивных или толстослоистых гипсах кунгура. Распространены они относительно редко, встречаемость их здесь составляет не более ~10% от всех известных карсто-

вых пещер рассматриваемого региона. При этом плотность и густота пещер на платформе значительно выше, чем в пределах Предуральского прогиба, а наибольшее развитие они получили на Уфа-Симском и Уршак-Бельком междуречьях в пределах Рязано-Охлебининского вала, то есть на наиболее значительном в Южном Предуралье положительном неотектоническом поднятии.

Геоморфологически пещеры в сульфатных породах тяготеют к долинам рек и суходолам, а их выходы располагаются, как правило, в подножьях склонов и в значительно меньшей степени — в нижних их частях (Охлебининская, Куэшта и др.). Развита они на уровне голоценовых и верхнеплейстоценовых речных террас и сформированы не ранее среднего плейстоцена. Крайне редко гипсовые пещеры приурочены к водораздельным пространствам. Входы их в этом случае находятся в карстовых воронках (Вертолетная, Чертова Бездна и др.) [Карст, 2002; Мартин и др., 1993].

Таблица

Типы сульфатного карста Южного Предуралья по степени перекрытости карстующихся пород некарстующимися

Table

Types of sulphate karst of the Southern Cis-Urals region according to the degree of overlap of karsting rocks by non-karst

Тип карста	География распространения	Покрывающие породы	Мощность*, м
Открытый	Прибельская равнина, с наибольшим распространением в нижнем течении р. Аургазы и локально в придолинных частях правых притоков р. Белой в ее меридиональном течении	Отсутствуют или представлены почвенно-растительным слоем	—
Прикрытый	Прибельская равнина, Бугульмино-Белебеевская возвышенность, Общий Сырт, с наибольшим распространением на Уршак-Бельском и Сим-Уфимском междуречьях	Элювиально-делювиальные (слабоводопроницаемые) современные образования	менее 15
Покрытый	Повсеместно, с наибольшим распространением на Прибельской равнине в пределах водораздельных пространств долины р. Белой от г. Стерлитамак до г. Бирск, в нижних течениях рр. Уфы, Уршака, Демы и др.	Морские осадки акчагыльского и апшеронского ярусов, элювиально-делювиальные отложения общесыртовой свиты с поровой водопроницаемостью	25–40
Закрытый	Повсеместно, с наибольшим распространением на Прибельской равнине в пределах водораздельных пространств и пологих склонов долин рек	Скальные и полускальные породы уфимского яруса средней перми с трещинной водопроницаемостью	50–60, редко до 100
Перекрытый	Речные террасы долин рек Белой, Уфы, Сима, Демы, Уршака, Бири и др. в их нижних и средних течениях	Глинистые (слабоводопроницаемые) и гравийно-галечные отложения плейстоцена и плиоцена с поровой водопроницаемостью	менее 40

Примечание: \* — предельная мощность покрывающих карстующиеся породы отложений, при которой карст проявляется на поверхности.

Note: \* — extreme power of sediments covering karst rocks, at which karst appears on the surface.



Рис. 3. Карстовый останец в правобережной части долины р. Аургазы в 0.6 км выше устья

Fig. 3. Karst outlier in the right bank of the river valley Aurgazy 0.6 km above the mouth

**Карбонатный карст** в пределах карстовой страны Восточно-Европейской равнины развит на Уфимском плато в породах артинского яруса, в известняках казанского яруса на Бульминско-Белебеевской возвышенности и брекчиевидных известняках лемазинской свиты нижней перми на Приайской равнине.

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 Уфимского 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<sup>3</sup>/с, Сарва — 0.35–2.9 м<sup>3</sup>/с, рис. 4, 5).

Карстопроявления карбонатного карста в пределах Бульминско-Белебеевской возвышенности имеются на участках выходов на поверхность верхнеказанских известняков и доломитов или на участках, где они перекрыты маломощным элювиально-делювиальным чехлом. 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.

Пещеры в карбонатных породах Южного Предуралья сравнительно редки. Самые значительные из них располагаются на юго-востоке Уфимского плато (Усть-Атавские 1-я, 2-я и 3-я, Неожиданная и др.). Сформированы они в толстослоистых или массивных органогенных известняках юрюзанской свиты сакмарского яруса. Входы в пещеры нередко находятся в карстовых воронках и располагаются с различным превышением над днищами долин-дрен, но гипсометрически все известные на сегодня пещеры карбонатного карста развиты выше среднеплейстоценовых речных террас. Свое формирование они начали не позднее раннего плейстоцена [Карст, 2002; Мартин и др., 1993].

**Сульфатно-карбонатный карст** значительно развит на западной половине Приайской равнины и юго-западе Бугульминско-Белебеевской

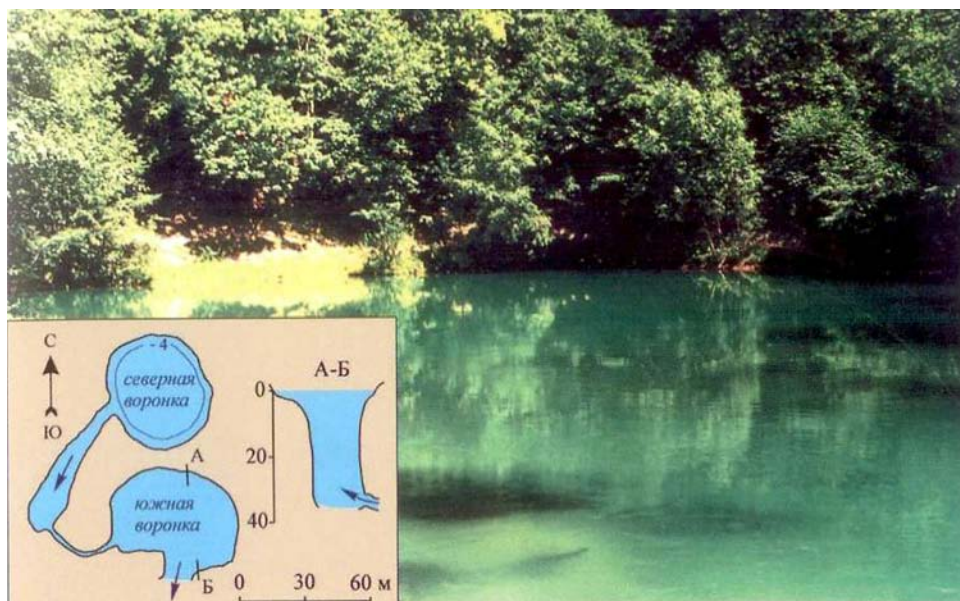


Рис. 4. Карстовый источник «Красный Ключ» — крупнейший карстовый родник Европы

Fig. 4. The «Krasniy kluch» karst spring is the largest karst spring in Europe



Рис. 5. Источник «Сарва» в подножье южного карстового склона Уфимского плато

Fig. 5. Spring “Sarva” at the foot of the southern karst slope of the Ufa Plateau



возвышенности. Фиксируется он также на западном обрамлении Уфимского плато, где происходит замещение карбонатных пород кунгурского яруса пермской системы сульфатными. Своеобразием отличается также и приконтактная зона между соликамскими известняками уфимского яруса и гипсами кунгурского яруса. Наличие слоев гипса в карбонатной толще резко усиливает карстовый процесс, особенно когда сульфатные породы подстилают трещиноватые известняки. Агрессивные слабоминерализованные воды, поступаая 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 областью верхнеказанские известняки и терригенные породы почти полностью замещаются гипсами. Карстовые воронки обычно приурочены к I, II надпойменным террасам и крутым склонам долин рек Демы, Ика, Уязы, руч. Шкаповского, образуя небольшие цепочки, совпадающие с преоб-

ладающим направлением трещиноватости, и даже полуслепые карстовые лога (рис. 6).

**Кластокарст.** Под кластокарстом авторы понимают 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 инфильтрационных вод [Карст..., 2002].

На карте распространения карста (см. рис. 1) этот тип карста выделен нами впервые. При этом подземная химическая денудация заключается в растворении и экстракции цемента (гипсового или карбонатного) 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% территории. Наиболее свойственны они гипсоносным глинам, алевролитам, песчаникам уфимского возраста, развитым в бассейнах рек Ика, Демы, Сюня, Базы, Чермасана и др. Достаточно широко



Рис. 6. Карстово-эрозионный полуслепой овраг с полем карстовых воронок в районе д. Максютово (Туймазинский район РБ)

Fig. 6. Karst-erosion half-blind ravine with a field of karst sinkholes in the area of the Maksyutovo village (Tuymazinsky district of the Bashkortostan Republic)

представлен кластокарст также на востоке Юрюзано-Айской равнины, где он связан с сульфатно-карбонатно-терригенными породами нижней перми ( $P_1k$ ). Общая мощность нижнепермской терригенной (карбонатно-терригенной, сульфатно-терригенной) толщи достигает 200–300 м. Количество  $CaSO_4$  и  $CaCO_3$  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<sup>3</sup>) и натриевые (до 15 г/дм<sup>3</sup>) 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. Однако в обстановке интенсивного техногенного воздействия активность кластокарстового процесса может существенно возрасти. Подобные явления отмечены на участках проникновения в терригенные породы хлоридных рассолов (районы нефтедобывающих предприятий, городских агломераций). Процессы химического и механического воздействия резко активизируются в результате строительства малых гидротехнических сооружений (водохранилищ, прудов), вызывающих рост вертикальных и горизонтальных градиентов напора [Абдрахманов, 2005].

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

**Горный тип карста** (II-A) на сильно дислоцированном субстрате приурочен к карбонатным толщам силурийского, девонского и каменноугольного возраста, развитых в пределах Западно-Уральской внешней зоны складчатости, прибельской части Зилаирского мегасинклиория, Тирлянской и Юрюзанской мульды, а также карбонатным породам саткинской, авзянской, катавской и миньярской свит верхнего протерозоя в пределах Башкирского мегантиклиория.

Горный рельеф и сильная дислоцированность отложений, частое переслаивание карбонатных и некарбонатных пород при наличии многочислен-

ных 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. Интенсивность распространения карстопроявлений здесь, как и на всей рассматриваемой территории, находится в прямой зависимости от чистоты состава карстующихся пород. В пределах Башкирского мегантиклиория наиболее интенсивно подвержены карстованию миньярская и катавская свиты, отложения которых распространены главным образом в низкогорной части Урала. В разрезе авзянской свиты карст развит в основном в реветской толще доломитов в пределах Бакало-Зигагинского межгорного понижения, в верховьях р. Тюльмы и по левым притокам р. Катав. Закарстованность доломитов приводит к интенсивному поглощению поверхностного стока и к возрастанию роли подземного. За счет концентрированных подземных водотоков питаются многодебитные родники по долинам рек Майгашлы, Басунды и др. Саткинские известняки и доломиты также карстуются в основном в межхребтовых понижениях среднегорной части Урала. Уровень карстовых вод в них часто залегает ниже, чем в окружающих некарстующихся породах, а протекающие по ним ручьи и речки теряют свой сток (р. Сюрюзяк и др.). На западном крыле Зилаирского мегасинклиория, а также в пределах Тирлянской и Юрюзанской мульды развитию карста во многом способствует долина р. Белой, меридиональное течение которой здесь заложено по простиранию карбонатных толщ.

Особенностью характера распространения воронок — доминирующей карстовой формой рельефа горного типа карста является его большое сходство с таковым в Предуралье на Уфимском плато. Как и на последнем, подавляющая часть воронок сосредоточена в верховьях рек, ручьев и логов и в предовражных ложбинообразных понижениях. Причем приурочены они в основном к отрезкам логов с минимальными уклонами их тальвегов. Срединные и устьевые части крутонаклонных и каньонообразных логов практически лишены воронок. Крайне редки воронки и на плоских аллювиальных террасах, а встречающиеся обычно прижаты к подножьям склонов долин рек, либо сосредоточены в их излучинах или вытягиваются вдоль их русел и представлены блюдцеобразными западинами.

Главной особенностью горного карста Южного Урала является наличие погребенных карстовых форм (карманы, воронки и впадины), имеющих древнее доакчагыльское происхождение. Размеры их намного значительнее современных. Так, на Верхнеаршинском полиметаллическом месторождении в зоне окисления был вскрыт типичный древний (мезозойский) карстовый рельеф с полостями и карманами, которые сосредоточены вдоль обнаруженных крутопадающих тектонических нарушений, имеющих северо-западное простирание.

Другой особенностью горного карста Южного Урала является широкое распространение карстовых пещер. Сформированы они главным образом в известняках, редко встречаются здесь в доломитах, еще реже в мергелях. В целом в горной части Южного Урала сосредоточено не менее 90% известных на сегодня пещер рассматриваемого региона. Здесь располагаются самые длинные по протяженности пещеры Урала [Мартин и др., 1993] — Киндерлинская им. 30-летия Победы (12935 м, Ш. Муслухов, С. Рычагов, 2017–2018 гг.) и «пропасть» Сумган (9860 м, Е. Войдаков, 1986 г.), всемирно известная своими палеолитическими рисунками пещера Шульган-Таш (Капова) [Щелинский, 1996] и пещера Старомурадымовская с настенными рисунками эпохи мезолита [Кузеев, Пшеничнюк, 1984].

Большинство пещер заложено в нижнекаменноугольных (35%), верхне- (24%) и нижнедевонских (19%) известняках, причем наиболее крупные пещеры характерны для верхнедевонских известняков [Карст..., 2002],

Абсолютное большинство пещер сосредоточено в пределах склонов долин-дрен и значительно реже — на водораздельных пространствах. Гипсометрически они располагаются на различных уровнях, однако подавляющая их часть здесь приурочена к интервалу абсолютных отметок 200–400 м. В этом же высотном интервале сконцентрирован и основной объем пещерных пустот. Большинство пещер Южного Урала, в сравнении с таковыми Предуралья, приурочено к средним и верхним частям зоны вертикальной нисходящей циркуляции карстовых вод. Более 80% всех пещер Южного Урала располагается над современными руслами рек выше 20-метровой отметки, примерно соответствующей верхнему уровню третьей надпойменной террасы среднеплейстоценового возраста. Заложение основной части пещер здесь произошло не позднее раннего плейстоцена, а возможно, и много раньше. Наиболее интенсивное их формирование

происходило в конце миоцена — начале плиоцена. Биоспелеологическим методом установлено, что уже к середине плиоцена на Южном Урале существовали крупные сухие пещеры [Смирнов, Книсс, 1986].

*Равнинный подтип карста* (II-Б) на складчатоглыбовой 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. Особенностью этого подтипа карста 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.

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 березовской 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.

### Заключение

Карстовый процесс является результатом геологически длительного естественно-исторического процесса формирования геологической среды. Этапы активного его развития в неоген-четвертичное время чередуются с периодами затухания и погребения карстопроявлений плиоцен-плейстоценовыми осадками, а активность их формирования

закономерно уменьшается от плиоцена к голоцену в соответствии с уменьшением масштаба неотектонических поднятий. Литологический состав карстующихся пород предопределил наибольшую пораженность территории поверхностными карстопроявлениями в районах развития сульфатного карста в Южном Предуралье, а на Южном Урале наибольшую концентрацию карстовых пещер в условиях развития карбонатного карста. При этом история геологического развития региона в новейшее время обусловила максимальную встречаемость более древних карстовых пещер и погребенных карстовых форм на Южном Урале в сравнении с Южным Предуральем.

На неоген-четвертичном этапе формирования карстопоявлений особо выделяется роль палеодоллин, которые в зависимости от строения и гидрогеологических условий способствуют или препятствуют развитию карстового процесса. Более того, история формирования рельефа в неоген-четвертичное время во многом предопределила также степень и характер перекрытости карстующихся пород некарстующимися, существенно определяющие интенсивность распространения карстопоявлений и современную активность провалобразования. Установлены предельные мощности покрывающих карстующиеся породы отложений, при которых карст проявляется на поверхности.

Отрицательные стороны карста, которые должны учитываться в социально-экономической деятельности, связаны с осложнениями при любых видах строительства на закарстованных территориях, в том числе промышленного, гражданского и гидротехнического, при сельскохозяйственном освоении закарстованных земель. Особую опасность представляют карстовые и суффозионно-карстовые процессы в гипсах, ведущие к образованию карстовых провалов и, как следствие, к деформации жилых и промышленных объектов. Хозяйственная деятельность человека существенно интенсифицирует карст и сопутствующие ему природные негативные явления (суффозия, просадки, обвалы и др.), которые коренным образом изменяют гидрогеодинамическую и гидрогеохимическую ситуацию как в самих закарстованных породах, так и в выше- и нижезалегающих толщах.

В последние годы, благодаря совершенствованию методов инженерно-геологических изысканий, широкому привлечению различных видов исследований (геофизических, моделирования и др.), разработке строительных норм и критериев оценки степени опасности закарстованных терри-

торий, появилась возможность более объективной оценки степени их устойчивости, обоснованного прогноза местоположения, частоты и размеров провалов.

При дальнейшем исследовании карста особую актуальность приобретают работы по созданию ГИС-проекта «Карст Южного Урала и Предуралья» с составлением электронной карты масштаба 1:500 000, которая на сегодня для рассматриваемого региона отсутствует.

*Работа выполнена в рамках Госбюджетной темы № 0246-2019-0086.*

### Список литературы:

- Абдрахманов Р.Ф. Гидрогеоэкология Башкортостана. — Уфа: Информреклама, 2005. — 344 с.
- Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г. Связь карста с неогеновыми долинами системы Палео-Белой в Южном Предуралье // Геоморфология. — 2017. — № 3. — С. 48–58. — doi.org/10.7868/S0435428117030051.
- Абдрахманов Р.Ф., Смирнов А.И. Карст Южного Предуралья и его активизация под влиянием техногенеза // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. — 2016. — № 4. — С. 353–361.
- Абдрахманов Р.Ф., Дурнаева В.Н., Смирнов А.И. Использование геоинформационных технологий в природообустройстве карстоопасных районов Южного Предуралья // Природообустройство. — 2018. — № 1. — С. 64–68. — doi.org/10.26897/1997-6011/2018-1-64-68.
- Карст Башкортостана / Р.Ф. Абдрахманов, В.И. Мартин, В.Г. Попов, А.П. Рождественский, А.И. Смирнов, А.И. Травкин. — Уфа: Информреклама, 2002. — 383 с.
- Кузеев Р.Г., Пшеничник А.Х. Новое открытие пещерной живописи на Южном Урале (Предварительное сообщение) // Исследования по исторической этнографии Башкирии. — Уфа: БФАН СССР, 1984. — С. 144–147.
- Мартин В.И., Смирнов А.И., Соколов Ю.В. Пещеры Башкирии // Пещеры, итоги исследований. — Пермь, 1993. — С. 30–59.
- Плиоцен и плейстоцен Волго-Уральской области / Под ред. М.А. Камалетдинова, В.Л. Яхимович. — М.: Наука, 1981. — 162 с.
- Рождественский А.П. Новейшая тектоника и развитие рельефа Южного Приуралья. — М.: Наука, 1971. — 303 с.
- Сиднев В.А. История развития гидрографической сети плиоцена в Предуралье. — М.: Наука, 1985. — 221 с.
- Смирнов А.И. Типы карста и современная активность его развития на Южном Урале и в Предуралье // Карстование — XXI век: теоретическое и практическое значение: Матер. междунар. симпоз. — Пермь, 2004а. — С. 90–94.
- Смирнов А.И. Оценка воздействия карстового процесса на населенные пункты Республики Башкортостан // Карстование — XXI век: теоретическое и практическое значение: Матер. междунар. симпоз. — Пермь, 2004б. — С. 325–328.

Смирнов А.И. Аномально крупные карстовые провалы Южного Урала и Предуралья // Геологический сборник № 10 // ИГ УНЦ РАН. — Уфа: ДизайнПресс, 2013. — С. 50–56.

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

Смирнов А.И., Книси В.А. Биоспелеологический метод определения возраста карстовых пещер (на примере пещер Южного Урала) // Геоморфология. — 1986. — № 1. — С. 96–98.

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

Шеко А.И. Методологические основы мониторинга экзогенных геологических процессов. М.: ГКНТ, 1982. С. 13–17.

Щелинский В.Е. Некоторые итоги и задачи исследований пещеры Шульган-Таш (Каповой). — Уфа: ИИЯЛ УНЦ РАН, 1996. — 30 с.

### References

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

Abdrakhmanov R.F., Popov V.G. Svyaz' karsta s neogenovymi dolinami sistemy Paleo-Beloi 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). doi.org/10.7868/S0435428117030051.

Abdrakhmanov R.F., Smirnov A.I. Karst Yuzhnogo Predural'ya i ego aktivizatsiya pod vliyaniem tekhnogeneza [Karst of the Southern Cis-Urals and its activation under the influence of technogenesis] // Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya. 2016. No. 4. P. 353–361. (In Russian).

Abdrakhmanov R.F., Durnaeva V.N., Smirnov A.I. Ispol'zovanie geo-informatsionnykh tekhnologii v prirodobustroistve karstoopasnykh rayonov Yuzhnogo Predural'ya [Use of geo-information technologies in the environmental management of the karst-dangerous areas of the Southern Cis-Urals] // Prirodobustroystvo. 2018. No. 1. P. 64–68. (In Russian). doi.org/10.26897/1997-6011/2018-1-64-68.

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

Kuzeev R.G., Pshenichnyuk A.Kh. Novoe otkrytie peshcher noi zhivopisi na Yuzhnom Urale (Predvaritel'noe soobshchenie) [New discovery of cave painting in the South Urals (Preliminary message)] // Issledovaniya po istoricheskoi etnografii Bashkirii [Studies on the historical ethnography of Bashkiria]. Ufa: Bashkir branch of the Academy of Sciences USSR Publ., 1984. P. 144–147. (In Russian).

Martin V.I., Smirnov A.I., Sokolov Yu.V. Peshchery Bashkirii [Caves of Bashkiria] // Peshchery, itogi issledovaniy. Perm', 1993. P. 30–59. (In Russian).

Pliotsen i pleistotsen Volgo-Ural'skoi oblasti [Pliocene and Pleistocene of the Volga-Urals Region] / M.A. Kamaletdinov, V.L. Yakhimovich (eds.). Moscow: Nauka, 1981. 162 p. (In Russian).

Rozhdestvenskii A.P. Noveishaya tektonika i razvitie rel'efa Yuzhnogo Priural'ya [Recent tectonics and the landform development of the South Ural Region]. Moscow: Nauka, 1971. 303 p. (In Russian).

Shchelinskii V.E. Nekotorye itogi i zadachi issledovaniy peshchery Shul'gan-Tash (Kapovoi) [Some results and tasks of the Shulgan-Tash (Kapova) cave research]. Ufa: Institute of History Languages and Literatures USC RAS, 1996. 30 p. (In Russian).

Sheko A.I. Metodologicheskie osnovy monitoringa ekzogennykh geologicheskikh protsessov [Methodological basis for monitoring exogenous geological processes] / Gosudarstvennyi komitet Soveta Ministrov SSSR po nauke i tekhnike [The State Committee of the USSR Council of Ministers on science and technology]. Moscow, 1982. P. 13–17. (In Russian).

Sidnev V.A. Istoriya razvitiya gidrograficheskoi seti plio-tsena v Predural'e [The history of the development of the hydrographic network of the Pliocene in the Cis-Urals]. Moscow: Nauka, 1985. 221 p. (In Russian).

Smirnov A.I. Tipy karsta i sovremennaya aktivnost' ego razvitiya na Yuzhnom Urale i v Predural'e [Types of karst and the current activity of its development in the Southern Urals and in the Cis-Urals] // Karstovedenie — XXI vek: teoreticheskoe i prakticheskoe znachenie: Materialy mezhdunar. Simpoziuma [Karst Studies — XXI Century: Theoretical and Practical Significance: Materials of the International Symposium]. Perm', 2004a. P. 90–94. (In Russian).

Smirnov A.I. Otsenka vozdeistviya karstovogo protsess na naseelennyye punkty Respubliki Bashkortostan [Assessment of the impact of the karst process on settlements of the Republic of Bashkortostan] // Karstovedenie — XXI vek: teoreticheskoe i prakticheskoe znachenie: Materialy mezhdunar. Simpoziuma [Karst Studies — XXI Century: Theoretical and Practical Significance: Materials of the International Symposium]. Perm', 2004b. P. 325–328. (In Russian).

Smirnov A.I. Anomal'no krupnye karstovyye provaly Yuzhnogo Urala i Predural'ya [Abnormally large karst failures of the Southern Urals and Cis-Urals] // Geologicheskii sbornik No. 10 / IG USC RAS. Ufa: DesignPress, 2013. P. 50–56. (In Russian).

Smirnov A.I. Karta sul'fatnogo karsta Yuzhnogo Predural'ya (soderzhanie, printsipy i metodika postroeniya) [Map of the sulfate karst of the Southern Cis-Urals (content, principles and methodology of construction)] // Inzhenernaya geologiya. 2018. V. 13, No. 1–2. P. 86–94. (In Russian). doi.org/10.25296/1993-5056-2018-13-1-2-86-94.

Smirnov A.I., Kniss V.A. Biospелеологический метод определения возраста карстовых пещер (на примере пещер Южного Урала) [Biospeleological method for determining the age of karst caves (at the example of the caves of the Southern Urals)] // Geomorfologiya. 1986. No. 1. P. 96–98. (In Russian).

Sokolov D.S. Osnovnye usloviya razvitiya karsta [Main Conditions of Karst Development]. Moscow: Gosgeoltekhizdat, 1962. 322 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: hydro@ufaras.ru

**Абдрахманов Рафил Фазылович**, доктор геол.-мин. 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

*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: smail@mail.ru

**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

**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