

НИВАЛЬНО-КОРРОЗИОННЫЕ КОЛОДЦЫ ЮЖНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ
(ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ)[#]© 2024 г. А. И. Смирнов^{1,*}¹ Институт геологии УФИЦ РАН, Уфа, Россия

* E-mail: smalil@mail.ru

Поступила в редакцию 21.04.2024 г.

После доработки 10.07.2024 г.

Принята к публикации 25.09.2024 г.

Установлено, что в регионе распространены два основных генетических типа карстовых колодцев: гравитационные и нивально-коррозионные. Первые представляют собой широко распространенные провалы, вторые — редко встречающиеся отрицательные формы рельефа, образованные талыми снеговыми водами, которые сформированы в гипсах кунгурского яруса приуральского отдела пермской системы в условиях открытого карста. Максимальное распространение нивально-коррозионных колодцев зафиксировано на двух участках: Аургазинском — на Прибельской пологоволнистой равнине и Селеукском — в западных холмисто-увалистых предгорьях Южного Урала. На этих участках такие колодцы образуют карстовые поля, где плотность в пересчете на 1 км² достигает 5 тыс. шт. Это самая высокая плотность поверхностных карстопоявлений в Южном Предуралье. На остальной территории региона нивально-коррозионные колодцы распространены одиночно. Характерны однообразная морфология и морфометрия этих колодцев, и их приуроченность к определенным элементам рельефа — в придолинных частях междуречий, резко сочленяющихся с обрывистыми склонами. При общей условно цилиндрической форме средний поперечник колодцев составляет 5 м, а глубина — 10 м. Определяющим фактором их образования являются сходные геолого-геоморфологические условия — одинаковый литотип карстующихся гипсов, обнажающихся на ровных или слабонаклонных участках. Приведен предполагаемый механизм формирования колодцев, обусловленный, деятельностью метеорных (преимущественно снеговых) вод.

Ключевые слова: равнинное Предуралье, западные предгорья Южного Урала, гипсы кунгурского яруса, агрессивность метеорных вод

DOI: 10.31857/S2949178924040095, **EDN:** FFRTOQ

1. ВВЕДЕНИЕ

Южное Предуралье охватывает западную часть Республики Башкортостан (РБ) и примыкающие к ней окраинные территории соседних субъектов Российской Федерации. Здесь развит классический сульфатный карст и широко распространены разнообразные формы его проявления, в том числе карстовые колодцы с отвесными бортами, у которых глубина превышает их входной поперечник. По ведущему экзогенному процессу, определяющему механизм их возникновения, они подразделяются на карстово-гравитационные и нивально-коррозионные (Тимофеев и др., 1991).

Карстово-гравитационные колодцы в Южном Предуралье распространены достаточно широко. Они представляют собой отрицательные формы

рельефа, возникающие в результате обрушения сводов пустот и по сути своей являются провалами, обычно с крутонаклонными или отвесными бортами. Наиболее часто они встречаются в условиях закрытого и перекрытого типов карста (Смирнов, 2020), где карстующиеся породы залегают соответственно под терригенно-карбонатными уфимскими — русский тип карста (рис. 1), и аллювиальными четвертичными — камский тип карста (рис. 2) отложениями. Иногда провалы в условиях открытого карста служат входом в пещеру, и в этом случае они являются переходной от поверхностной к подземной форме карста (Соколов, 1962) (рис. 3).

Нивально-коррозионные колодцы на рассматриваемой территории представляют собой весьма своеобразные, редко встречающиеся и слабо изученные в Южном Предуралье карстовые формы рельефа. У них, как и у карстово-гравитационных колодцев, отвесные стенки и глубина, превышающая поперечник, но главным признаком этого типа колодцев является отсутствие под ними карстовых пустот, вмещающих обрушившиеся поро-

[#] Ссылка для цитирования: Смирнов А.И. (2024). Нивально-коррозионные колодцы Южного Предуралья (особенности распространения и формирования). *Геоморфология и палеогеография*. Т. 55. № 4. С. 144–156. <https://doi.org/10.31857/S2949178924040095>; <https://elibrary.ru/FFRTOQ>

ды, и нередко — наличие коррозионных желобов на бортах.

Целью исследования является морфологическая и морфометрическая характеристика нивально-коррозионных колодцев, установление закономерностей их распространения и формирования.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исходными материалами послужили производственные отчеты по изучению экзогенных процессов на территории РБ (Смирнов, Ткачев, 1986, Смирнов и др., 1989, Смирнов, 1994). Сведения,

содержащиеся в этих отчетах, были дополнены автором данными дешифрирования космоснимков и полевыми исследованиями 2021–2023 гг., в результате которых определены территории распространения карстовых колодцев и выявлены участки развития колодцев не провального происхождения. При полевых исследованиях полуинструментально фиксировались морфометрические параметры колодцев и их приуроченность к элементам рельефа, описывались литологические типы карстующихся гипсов в бортах колодцев и на склонах долин-дрен. По результатам исследований



Рис. 1. Карстовый провал в 0.9 км северо-западнее д. Кигазытамаково (Мишкинский район РБ). Закрытый тип карста. Дата образования 03.05.2023. Фото ГУ МЧС по РБ.

Fig. 1. Karst dip 0.9 km north-west of Kigazytamakovo village (Mishkinsky district of the Republic of Bashkortostan). A closed type of karst. Date of formation: 03 May 2023. Photo of the Main Directorate of the Emergencies Ministry for the Republic of Bashkortostan.



Рис. 2. Карстовый провал в 0.17 км юго-восточнее д. Новоминзитарово (Благовещенский район РБ). Перекрытый тип карста. Дата образования 26.10.2023. Фото А.А. Хайруллиной.

Fig. 2. Karst dip 0.17 km south-east of Novominzitarovo village (Blagoveshchensky district of the Republic of Bashkortostan). An overlapped type of karst. Date of formation: 26 October 2023. Photo by A.A. Khayrullina.



Рис. 3. Ахмеровский провал в 0.8 км северо-восточнее д. Ахмерово (Аургазинский район РБ). В южном борту провала — вход в гипсовую пещеру Вертолетная с общей протяженностью ходов 1872 м (Соколов, 2024 г.). Фото В.Л. Машина.

Fig. 3. Akhmerovsky dip 0.8 km north-east of Akhmerovo village (Aurgazinsky district of the Republic of Bashkortostan). In the southern side of the dip there is an entrance to the gypsum cave Vertoletnaya with a total length of 1872 m of passages (Sokolov, 2024). Photo by V.L. Mashin.



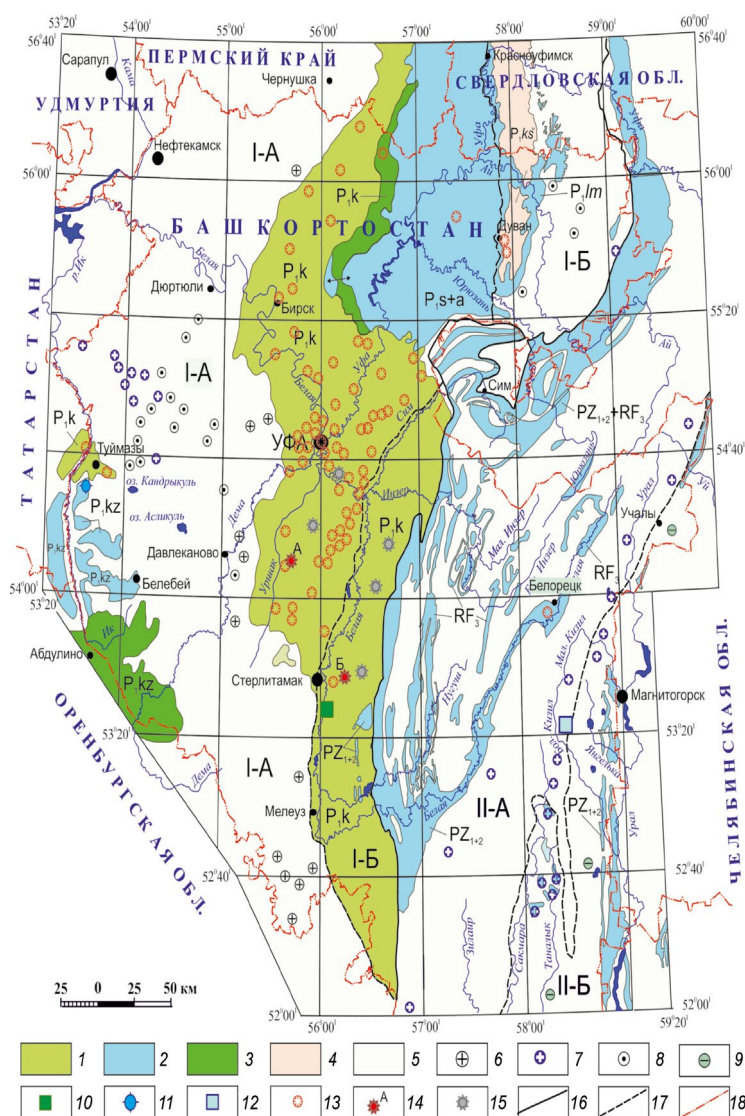


Рис. 4. Типы карста Южного Урала и Предуралья по (Смирнов, 2023).

Карстовая страна Восточно-Европейской равнины (I): I-A – равнинный карст в горизонтально и пологозалегающих породах Предуралья; I-B – равнинный и предгорный карст Предуралья в пологозалегающих и слабо дислоцированных породах. Уральская карстовая страна (II): II-A – горный и предгорный карст в сильно дислоцированных образованиях Урала; II-B – равнинный карст в складчато-глыбовых отложениях Зауралья. *Типы карста по составу карстующихся пород:* 1 – сульфатный, 2 – карбонатный, 3 – сульфатно-карбонатный, 4 – кластокарст, 5 – территории с отсутствием карстопроявлений. *Локальные проявления традиционных типов карста:* 6 – сульфатного, 7 – карбонатного, 8 – кластокарста. *Проявления нетрадиционных типов карста:* 9 – сульфидного, 10 – соляного, 11 – известковых туфов, 12 – в мраморах, 13 – карстовые провалы современные с фиксированным временем образования. *Нивально-коррозионные колодцы:* 14 – участки с площадным распространением колодцев (карстовых полей): А – Аургазинский, Б – Селеукский; 15 – локальное (одиночное) распространение колодцев. *Границы:* 16 – карстовых стран, 17 – типов карста по характеру рельефа и условиям залегания пород, 18 – субъектов РФ.

Fig. 4. Karst types of the Southern Urals and Cis-Urals by (Smirnov, 2023).

Karst country of the East European Plain (I): I-A – plain karst in horizontally and hollowly bedded rocks of the western piedmont of the Ural Mountains; I-B – plain and foothill karst of the western piedmont of the Ural Mountains in hollowly bedded and weakly dislocated rocks. Ural karst country (II): II-A – mountainous and foothill karst in strongly dislocated formations of the Urals; II-B – plain karst in folded clastic deposits of the Trans-Urals.

Types of karsts by the composition of karst rocks: 1 – sulfate, 2 – carbonate, 3 – sulfate-carbonate, 4 – clastokarst, 5 – territories with no karst occurrences. *Local manifestations of traditional types of karsts:* 6 – sulfate karst, 7 – carbonate karst, 8 – clastokarst. *Manifestations of non-traditional types of karsts:* 9 – sulfide, 10 – salt, 11 – calcareous tuff, 12 – in marbles, 13 – contemporary karst dips with fixed time of formation. *Nival-corrosive wells:* 14 – areas with area distribution of wells (karst fields): A – Aurgazinsky, B – Seleuksky; 15 – local (single) distribution of wells. *Borders:* 16 – karst countries, 17 – karst types by the character of relief and conditions of rock occurrence, 18 – subjects of the Russian Federation.

по ранее апробированной методике карстологической съемки (Смирнов, 2018) были составлены карты карста участков площадного распространения нивально-коррозионных колодцев, на основе которых установлены особенности распространения карстовых форм.

Ранее автором уже публиковались сведения о карстовых колодцах Южного Предуралья (Смирнов, 2014; Смирнов, Соколов, 2021), но сводные

данные о них и предполагаемый механизм образования нивально-коррозионных колодцев приводятся впервые.

Следует особо отметить, что большую помощь при обследовании колодцев оказал главный специалист ОАО “Институт Гипростроймост” В.Л. Машин, которым по рекомендациям и просьбе автора осуществлена съемка исследуемых объектов квадрокоптером “Геоскан”.

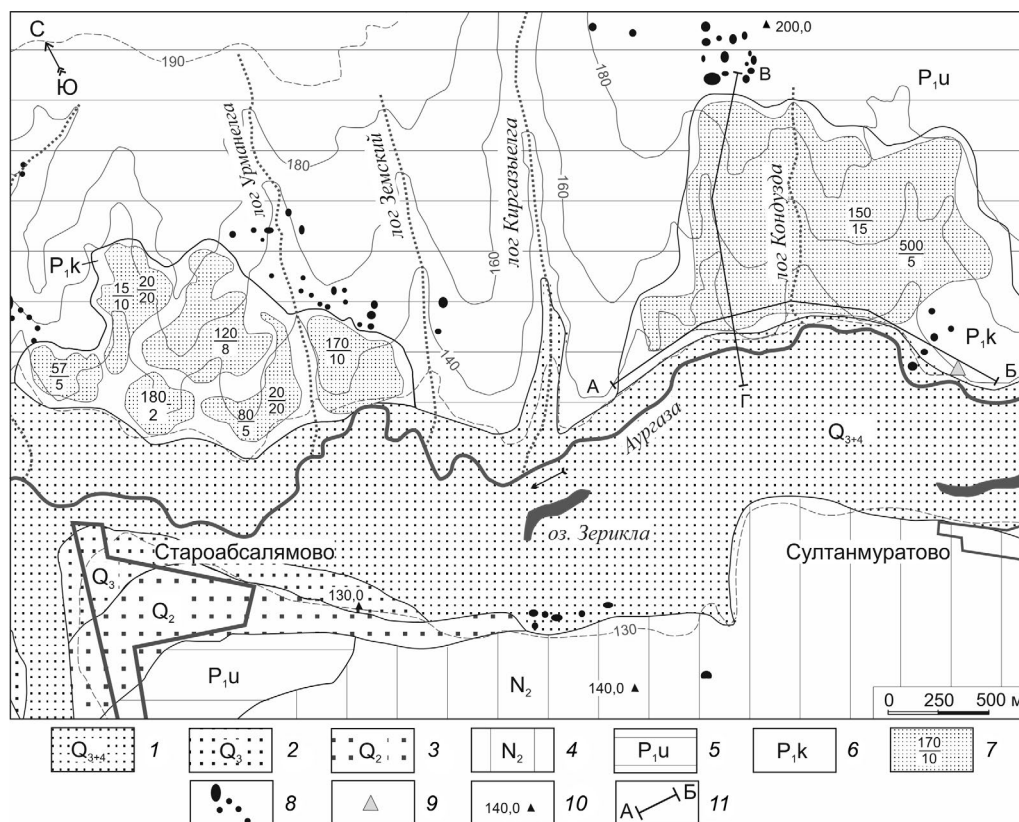


Рис. 5. Карта карста Аургазинского участка по (Смирнов, 2014).

Типы сульфатного карста по степени перекрытости карстующихся гипсов некарстующимися породами: перекрытый (подальювиальный или камский) в днище долины р. Аургазы в пределах: 1 – поймы и первой нпт (голоцен и верхний плейстоцен), 2 – второй нпт (верхний и средний плейстоцен), 3 – третьей нпт (средний плейстоцен); 4 – покрытый в условиях залегания гипсов под суглинисто-глинистыми плиоценовыми отложениями, 5 – закрытый (русский) в условиях залегания гипсов под терригенно-карбонатными уфимскими породами, 6 – открытый (голый или средиземноморский) карст с участками прикрытого в условиях выхода гипсов кунгурского яруса на поверхность или прикрытия их маломощным (не более 3 м) чехлом элювиально-делювиальных четвертичных отложений. Поверхностные проявления карста: 7 – карстовое поле (числитель и их средний диаметр (знаменатель)), 8 – отдельные карстовые воронки; 9 – родник; 10 – отметки абс. высот, м; 11 – линии профилей.

Fig. 5. Karst map of the Aurgazinsky area by (Smirnov, 2023).

Types of sulfate karst according to the degree of overlap of karsted gypsum with non-karsted rocks: overlapped (suballuvial or Kama) in the bottom of the Aurgazy river valley within the limits of: 1 – floodplain and first supra-floodplain terrace (Holocene and Upper Pleistocene), 2 – second supra-floodplain terrace (Upper and Middle Pleistocene), 3 – third supra-floodplain terrace (Middle Pleistocene); 4 – covered in conditions of gypsum occurrence under loamy-clayey Pliocene sediments, 5 – enclosed (Russian) in conditions of gypsum occurrence under terrigenous-carbonate Ufa rocks, 6 – open (bare or Mediterranean) karst with areas of covered karst in the conditions of gypsums of the Kungurian stage reaching the surface or covered by a low thickness (not more than 3 m) cover of eluvial-deluvial Quaternary sediments. Surface manifestations of karst: 7 – karst field, fraction: number of sinkholes and wells in the karst field (numerator) and their average diameter (denominator), 8 – individual karst sinkholes; 9 – spring; 10 – absolute height marks, m; 11 – traverse line.

3. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Южное Предуралье находится на восточной окраине Восточно-Европейской (Русской) равнины, где выделяются ряд плато (Уфимское и Белокатайское), возвышенностей (Бугульмино-Белебеевская и Общий Сырт) и равнин (Прибельская и Приайская), а также предгорья Южного Урала (Смирнов, 2005).

Климат района континентальный с холодной зимой и жарким летом. Среднегодовая температура воздуха $+2.4^{\circ}\text{C}$. Период со среднесуточной температурой воздуха выше 0°C составляет около 6.5 мес. (обычно с первой половины апреля до

третьей декады октября). Снежный покров держится в течение 5 мес., устойчивым он становится в середине ноября, а разрушается в середине апреля. Глубина промерзания грунта колеблется от 0.5 до 1.3 м и находится в обратной зависимости от высоты снежного покрова (Смирнов, Соколов, 2022).

Среднегодовое количество атмосферных осадков в Южном Предуралье составляет 500–600 мм. По химическому составу они гидрокарбонатно-сульфатные кальциевые и магниевые-кальциевые с общей минерализацией около 30 мг/дм^3 (Черняева и др., 1978). По отношению к гипсу дефицит их насыщения, рассчитанный по методике В.П. Зверева (1967), достигает 2.5 г/дм^3 .

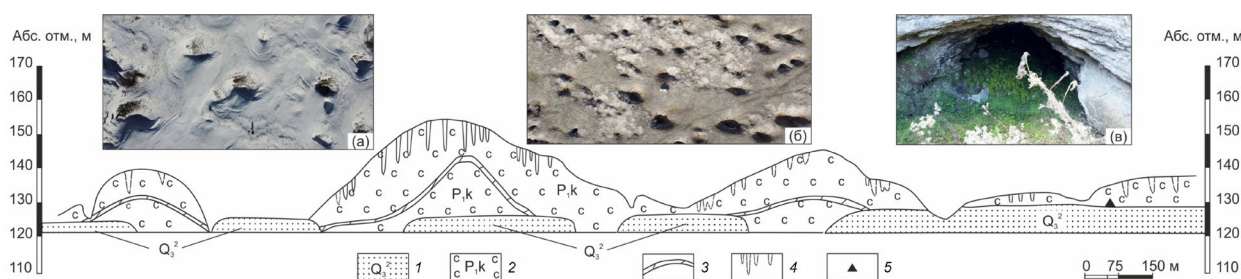


Рис. 6. Продольный профиль правого склона долины р. Аургазы по линии А–Б (рис. 5). Фото В.Л. Машина. (а) — карстовое поле колодцев в начале зимы (ноябрь 2021 г.) напротив д. Староабсолямово; (б) — карстовое поле колодцев поздней осенью (октябрь 2021 г.) напротив д. Султанмуратово; (в) — нивально-коррозионный колодец напротив д. Султанмуратово.

1 — аллювий первой надпойменной террасы (суглинки, супеси, пески); 2 — кунгурский ярус (гипсы); 3 — прослой мергелей; 4 — колодцы; 5 — родник.

Fig. 6. Longitudinal section of the right slope of the Aurgazy river valley along the A–B line in fig. 5. Photo by V.L. Mashin.

(a) — karst field of wells in early winter (November 2021) opposite the village of Staroabsolyamovo; (b) — karst field of wells in late fall (October 2021) opposite Sultanmuratovo village; (v) — nival-corrosive well opposite Sultanmuratovo village. 1 — alluvium of the first supra-floodplain terrace (loams, sandy loams, sands); 2 — Kungurian stage (gypsums); 3 — marl interlayers; 4 — wells; 5 — spring.

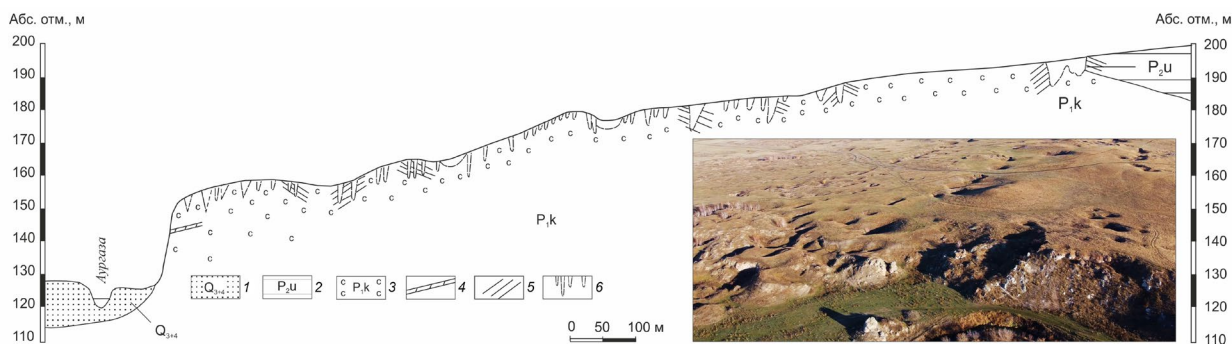


Рис. 7. Поперечный профиль правого склона долины р. Аургазы по линии В–Г (рис. 5). Фото В.Л. Машина. 1 — аллювий первой надпойменной террасы (суглинки, супеси, пески); 2 — уфимский ярус (тонкое переслаивание аргиллитов, алевролитов, песчаников, известняков, мергелей); 3 — кунгурский ярус (гипсы); 4 — прослой мергеля (маркирующий горизонт); 5 — залегание пород; 6 — колодцы.

Fig. 7. Transverse section of the right slope of the Aurgazy river valley along the B–Г line in fig. 5. Photo by V.L. Mashin. 1 — alluvium of the first supra-flood terrace (loams, sandy loams, sands); 2 — Ufa Stage (thin interlacing of mudstones, siltstones, sandstones, limestones, marls); 3 — Kungur Stage (gypsums); 4 — marl interlayer (marking horizon); 5 — bedding of rocks; 6 — wells.

В тектоническом отношении рассматриваемый регион относится соответственно к юго-восточной окраине Восточно-Европейской (Русской) платформы и граничащей с ней с востока, Бельской депрессии Предуральяского прогиба. До глубины, при которой карст может проявляться на поверхности (обычно до 100 м), принимают участие осадочные отложения нижней перми, неогена (ограниченно) и плейстоцена.

Главной особенностью истории развития рельефа рассматриваемого региона является длительный (с раннего миоцена и до настоящего времени) преимущественно континентальный режим. При этом миоцен был временем максимальной пенеппенизации. Четвертичный период характеризуется прерывистыми поднятиями и в это время Южное Предуралье не подвергалось оледенению (Рождественский, 1971).

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В Южном Предуралье колодцы карстово-гравитационного генезиса распространены почти повсеместно в районах развития сульфатного карста, в любых условиях перекрытия гипсов некарстующимися отложениями (Смирнов, 2020). Нивально-коррозионные колодцы встречены на Прибельской равнине и в западных предгорьях Южного Урала в районах развития открытого карста. Больше всего их на в долине р. Аургазы (Аургазинский участок) (Смирнов, 2014) и в

долине р. Селеук (Селеукский участок), где они образуют карстовые поля — скопления поверхностных карстопроявлений, объединенных единым контуром от их края на расстоянии не более 100 м (Смирнов, Соколов, 2021). На остальной территории Южного Предуралья нивально-коррозионные колодцы встречаются одиночно или небольшими группами (до 5 шт.) на небольших участках выхода гипсов. Их распространение показано на карте типов карста (рис. 4).

4.1. Площадное распространение нивально-коррозионных колодцев

4.1.1 Аургазинский участок

В административном отношении участок находится на территории Аургазинского муниципального района РБ, в нижнем течении р. Аургазы (правый приток р. Уршак) с абс. отметками от 120–130 (в днище долины реки) и до 200 м (на водоразделе). В геоморфологическом отношении участок расположен в юго-восточной части Прибельской пологоволнистой равнины на Уршак-Бельском междуречье (Смирнов, 2005) в пределах южной части Рязано-Охлебининского вала (Рождественский, 1971).

Долина р. Аургазы ассиметричная, с левым пологим склоном, плавно переходящим в междуречье, и правым крутым, местами обрывистым склоном высотой 30–40 м, расчлененным логами. Правый склон и придолинная часть междуречья сложены нижнепермскими гипсами кунгурского яруса и терригенно-карбонатными отложениями

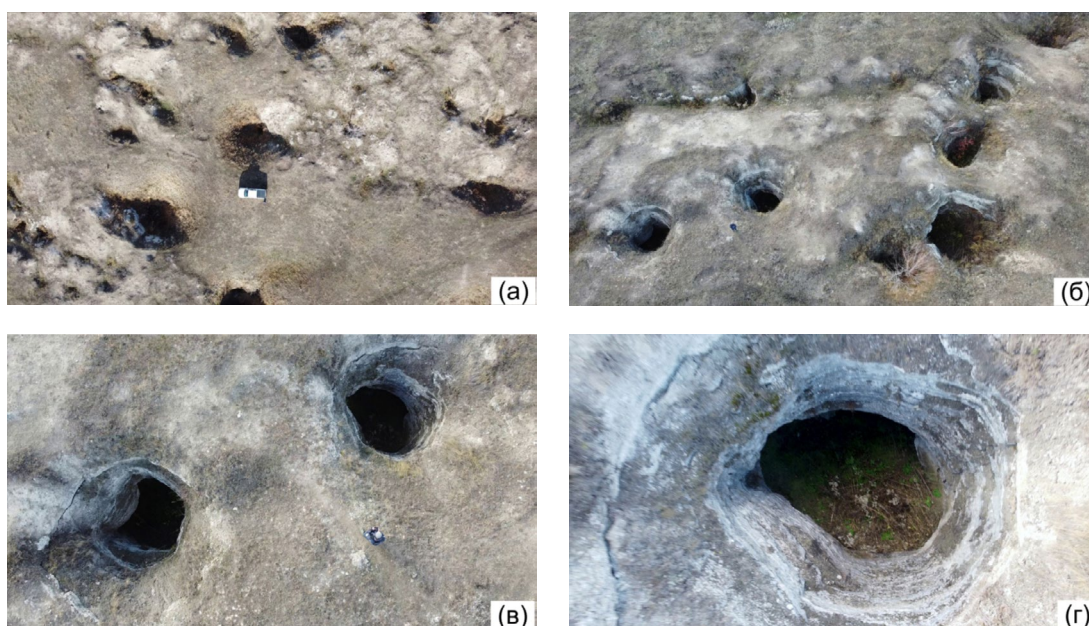


Рис. 8. Нивально-коррозионные колодцы на Аургазинском участке: (а) и (б) — карстовые поля колодцев, (в) и (г) — форма колодцев. Фото В.Л. Машина.

Fig. 8. Nival-corrosive wells at the Aurgazinskiy area: (a) and (б) — karst fields of wells, (в) and (г) — shape of wells. Photo by V.L. Mashin.

уфимского яруса, а левый — преимущественно суглинисто-глинистыми отложениями плиоцена. Днище долины реки выполнено аллювиальными плейстоценовыми и голоценовыми образованиями (рис. 5).

Колодцы непровального генезиса распространены исключительно на правобережье (рис. 6, 7), в чистых по составу белых сахаровидных гипсах мощностью 8–14 м, выведенных на поверхность,

ниже которых залегают тонкослоистые с глинистыми прослойками гипсы (Смирнов, 2014). Глубина колодцев 8–12 м, поперечник — 3–7 м сверху и 2–3 м в средней и нижней частях. Дно плоское, сформированное чаще всего по кровле слоистых гипсов. На дне — щелевидные поноры, направленные в сторону долины р. Аургазы (рис. 8).

Встречаемость колодцев на карстовых полях достигает 385 шт на 1 км². Так, на карстовом поле

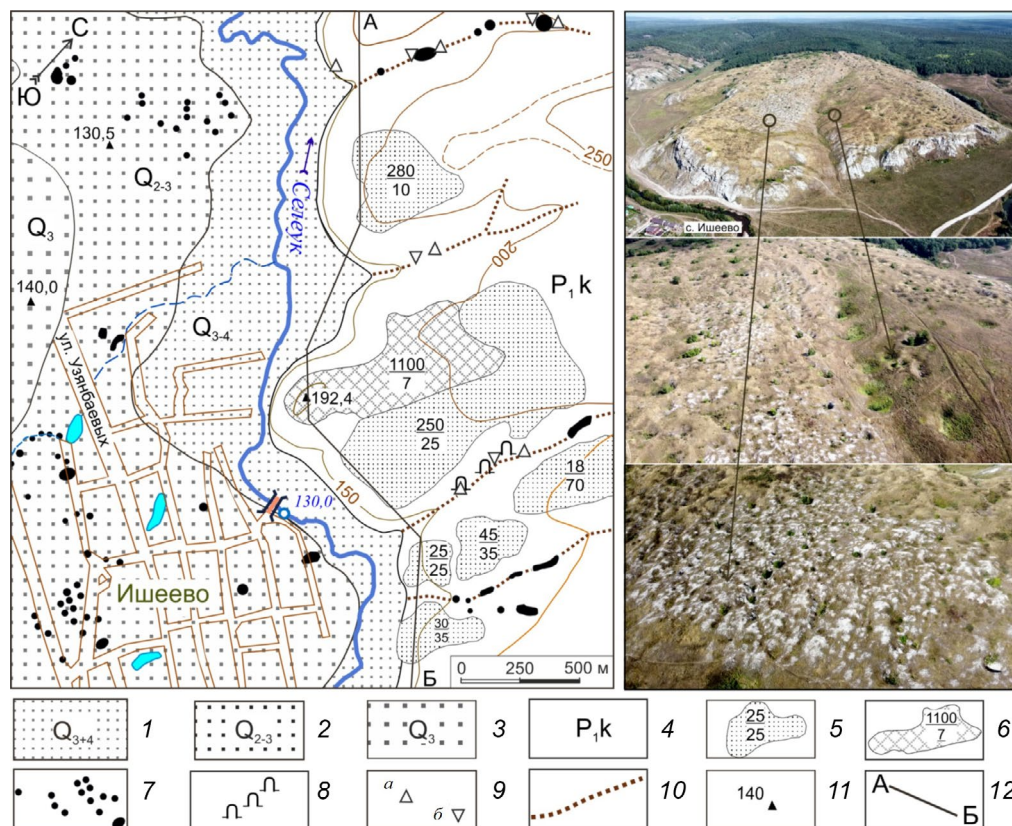


Рис. 9. Карта карста Селеукского участка (по Смирнов, Соколов, 2021). Фото В.Л. Машина.

Типы сульфатного карста по степени перекрытости карстующихся гипсов некарстующимися породами: перекрытый (подаллювиальный или камский) в днище долины р. Селеук в пределах: 1 – поймы и первой нпт (голоцен и верхний плейстоцен), 2 – второй нпт (верхний и средний плейстоцен), 3 – третьей нпт (средний плейстоцен); 4 – открытый (голый или средиземноморский) карст с участками прикрытого в условиях выхода гипсов кунгурского яруса на поверхность или прикрытия их маломощным (не более 3 м) чехлом элювиально-делювиальных четвертичных отложений. Поверхностные проявления карста: 5 – карстовое поле воронок и колодцев (числитель – количество воронок и колодцев, шт., знаменатель – их средний диаметр, м); 6 – карстовое поле нивально-коррозионных колодцев (числитель – количество колодцев, шт., знаменатель – средний диаметр колодцев, м); 7 – отдельные карстовые воронки; 8 – Ишеевская пещерная система; 9 – водный и поглощающий воды объекты (а – родник, б – понор); 10 – тальвег эрозионно-карстового лога; 11 – отметки абс. высот, м; 12 – линия профиля А–Б.

Fig. 9. Karst map of the Seleuksky area (by Smirnov, Sokolov, 2021). Photo by V.L. Mashin.

Types of sulfate karst according to the degree of overlap of karsted gypsum with non-karsted rocks: overlapped (suballuvial or Kama) in the bottom of the Seleuk River valley within the limits of: 1 – floodplain and first supra-floodplain terrace (Holocene and Upper Pleistocene), 2 – second supra-floodplain terrace (Upper and Middle Pleistocene), 3 – third supra-floodplain terrace (Middle Pleistocene); 4 – open (bare or Mediterranean) karst with areas of covered karst in the conditions of gypsums of the Kungurian stage reaching the surface or covered by a low thickness (not more than 3 m) cover of eluvial-deluvial Quaternary sediments. Surface manifestations of karst: 5 – karst field of sinkholes and wells, fraction in the field contours: numerator – number of sinkholes and wells (pcs.), denominator – their average diameter (m); 6 – karst field of nival-corrosive wells, fraction in the field contours: numerator – number of wells (pcs.), denominator – average diameter of wells (m); 7 – separate karst sinkholes; 8 – Isheevskaya cave system; 9 – water and water absorbing objects (a – spring, b – ponor); 10 – thalweg of erosion-karst log; 11 – marks of absolute heights (m); 12 – traverse A–B line.

напротив с. Султанмуратово на площади ~ 1.7 км² суммарно насчитывается 650 колодцев (рис. 5).

4.1.2. Селеукский участок

Находится в Ишимбайском районе РБ, в нижнем течении р. Селеук (правый приток р. Белой), в западных предгорьях Южного Урала со структурно-денудационным типом рельефа (Смирнов, 2005). Долина асимметричная, с левым пологим и правым крутым, расчлененным логами, склоном высотой до 50 м. Абсолютные отметки участка — от 130 до 250 м на водоразделе. На правом склоне и в придолинной части междуречья гипсы выведены на поверхность, а в днище долины они перекрыты аллювиальными плейстоценовыми и голоценовыми образованиями (рис. 9, 10). Нивально-коррозионные колодцы на Селеукском участке, как и на Аургазинском, развиты на правобережье в гипсах кунгурского яруса. Сформированы они на абс. отметках 180–210 м с превышением над рекой 50–60 м.

Колодцы на Селеукском участке похожи на Аургазинские. Глубина их также составляет 10–12 м при поперечнике 3–5 (редко до 10) м и также контролируется мощностью гипсов. Дно колодцев плоское с пологонаклонными щелевидными понорами; также имеет вертикальные стенки, осложненные коррозионными желобами. При этом

более четко желоба выражены в меньших по поперечнику колодцах (рис. 11).

Установлено, что количество карстовых форм на обоих участках возрастает от молодых форм рельефа к более древним. Максимум приурочен к придолинной части междуречья, расчлененного логами, где они образуют карстовые поля с плотностью ~ 5 тыс. шт. на 1 км². Это самая высокая в Южном Предуралье, а, возможно, и на всей Восточно-Европейской равнине плотность поверхностных карстопроявлений (Смирнов, Соколов, 2021) (рис. 9). На карстовых полях колодцы встречаются так часто, что они нередко отделены друг от друга лишь узкими перешейками шириной 1–5 м (рис. 11).

4.2. Локальное распространение нивально-коррозионных колодцев

Выявлено на Прибельской равнине и в западных предгорьях Южного Урала (рис. 4). Встречаемость их там крайне редкая, а площадь участков распространения не превышает 0.5 км².

Локальное распространение колодцев, как и площадное, связано с развитием карста в условиях открытого типа. Сформированы они также в гипсах кунгурского яруса, но встречаются одиночно или небольшими группами (очень редко до 5 шт.) и карстовых полей не образуют.

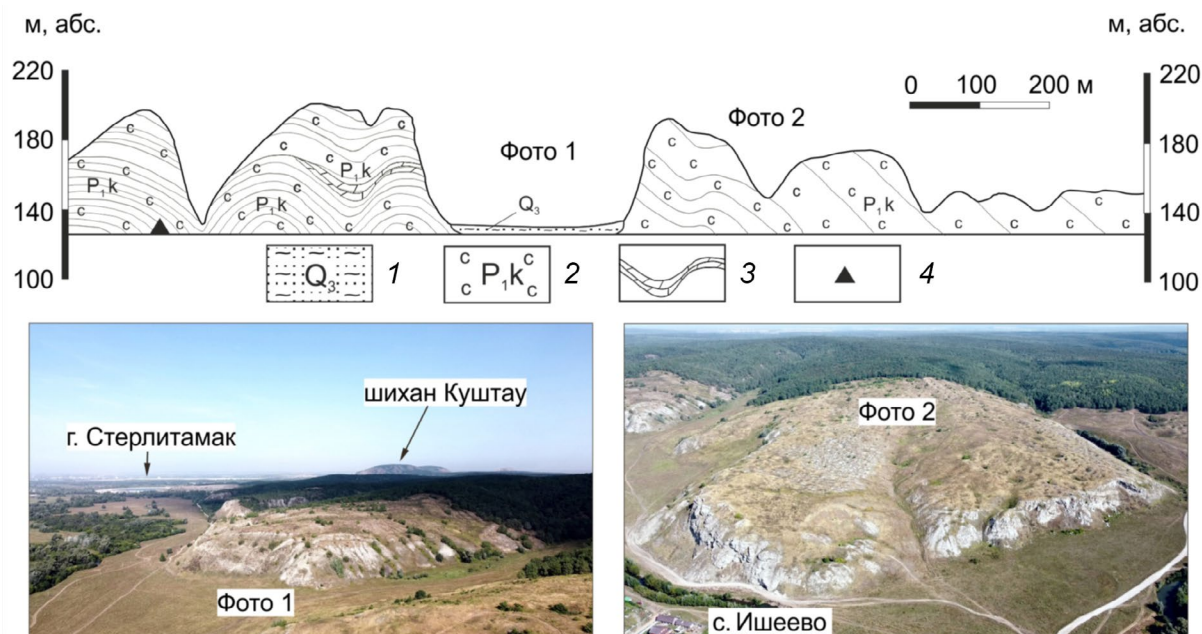


Рис. 10. Продольный профиль правого склона долины р. Селеук по линии А–Б (по Смирнов, Соколов, 2021). Фото А.И. Смирнова (1) и В.Л. Машина (2).

1 – аллювий первой надпойменной террасы (суглинки, супеси, пески); 2 – кунгурский ярус (гипсы); 3 – прослой мергелей; 4 – родник.

Fig. 10. Longitudinal section of the right slope of the Seleuk River valley along the A–B line (by Smirnov, Sokolov, 2021). Photo by A.I. Smirnov (1), photo by V.L. Mashin (2).

1 – alluvium of the first supra-floodplain terrace (loams, sandy loams, sands); 2 – Kungurian stage (gypsums); 3 – marl interlayers; 4 – spring.

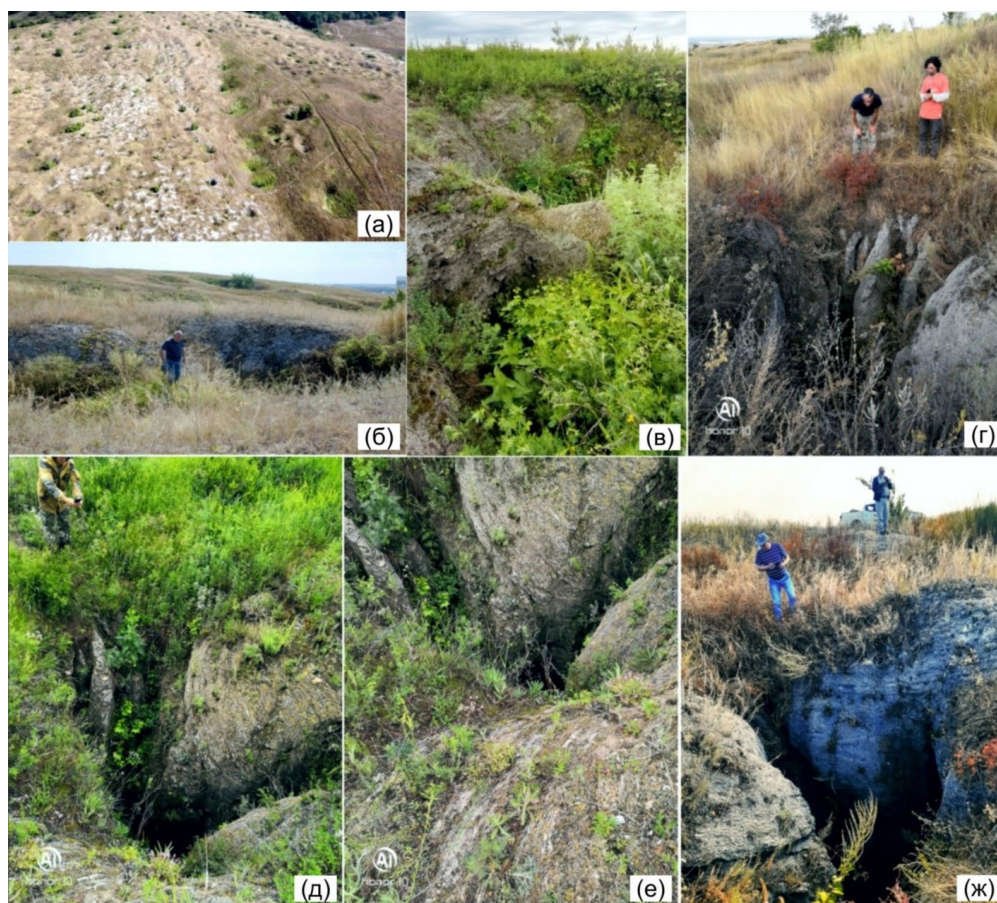


Рис. 11. Нивально-коррозионные колодцы в придолинной части водораздельного пространства по правобережью р. Селеук напротив с. Ишеево. Фото А.И. Смирнова.

(a) — карстовое поле колодцев; (б) и (в) — перешейки между соседними колодцами; (г), (д), (е), (ж) — коррозионные желоба в бортах колодцев с различным поперечником.

Fig. 11. Nival-corrosive wells in the near-bottom part of the watershed along the right bank of the Seleuk River opposite Isheevo village. Photo by A.I. Smirnov.

(a) — karst field of wells; (б) and (в) — isthmuses between neighboring wells; (г), (д), (е), (ж) — corrosion troughs in the sides of wells with different cross-section.



Рис. 12. Колодец в долине р. Бердяшки (Ишимбайский район РБ). Фото А.И. Смирнова.

Fig. 12. A well in the valley of the Berdyashka River (Ishimbaysky district of the Republic of Bashkortostan). Photo by A.I. Smirnov.



Рис. 13. Колодец на Уфа-Симском междуречье в коренной излучине р. Белой (Иглинский район РБ). Фото В.Л. Машина.

Fig. 13. A well on the Ufa-Sim interfluvium in the radical bend of the Belaya River (Iglinsky district of the Republic of Bashkortostan). Photo by V.L. Mashin.

В геоморфологическом отношении одиночные колодцы приурочены к плоским или слабонаклонным придолинным частям правобережных водораздельных пространств, где на небольших по площади участках гипсы кунгура выведены на поверхность. В равнинном Южном Предуралье локальное распространение колодцев встречается на абс. отметках 180–200 м, а в западных предгорьях Южного Урала на — 230–250 м.

Форма и размеры одиночных колодцев почти такие же, как и на участках их площадного их распространения. При относительно одинаковой глубине колодцев в среднем около 10 м эрозионные желоба в их отвесных бортах более ярко выражены в меньших по поперечнику колодцах (рис. 12, 13).

5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Все нивально-коррозионные колодцы в Южном Предуралье сформированы в условиях открытого карста, где гипсы кунгура выведены на поверхность или прикрыты маломощным (менее 0.2 м) почвенно-растительным слоем. Открытый карст имеет ограниченное распространение и занимает по площади менее 0.1% от всей территории распространения поверхностных карстопроявлений в регионе (Смирнов, 2005), что и предопределяет крайне редкую встречаемость нивально-коррозионных колодцев в рассматриваемом регионе.

Нивально-коррозионные колодцы сформированы в чистых гипсах. Главной их особенностью является сходная морфология и морфометрия. Повсеместно они округлые или овальные с отвесными бортами при относительно одинаковом поперечнике в средних и нижних частях, а иногда и по всей глубине (рис. 8). Преобладающие глубины и диаметр колодцев составляют соответственно 10 и 5 м. Вполне вероятно, что относительно одинаковая глубина колодцев в основном соответствует мощности чистых гипсов. Ниже их подошвы залегают очень тонкослоистые с глинистыми прослойками (плойчатые) серые и темно-серые гипсы, и колодцы в них не развиваются. Иногда “входной” поперечник колодцев имеет воронкообразный облик (рис. 12). Следует также отметить, что эрозионные желоба в отвесных стенках нивально-коррозионных колодцев наиболее ярко выражены на участках с заметным наклоном, хотя следы деятельности временных или постоянных водотоков вокруг них отсутствуют. Слабо выражены эрозионные желоба в бортах колодцев, расположенных на плоских участках.

Основной геоморфологической особенностью распространения колодцев в рассматриваемом регионе является их формирование только на выложенных придолинных участках правобережья, расчлененного логами, с превышением над урезом дренирующих рек на 30–40 м в Южном

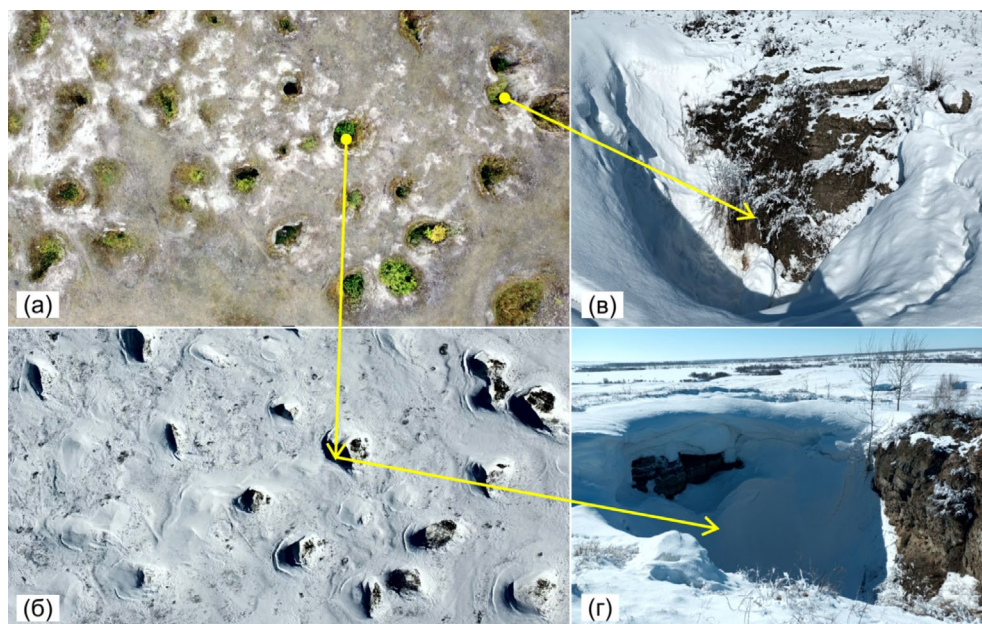


Рис. 14. Поле колодцев на Аургазинском участке. Карстовое поле колодцев: (а)– октябрь 2022 г., (б) – март 2023 г.; (в) и (г) – колодцы со снегом в бортах и дне в марте 2023 г. Фото. В.Л. Машина (все фото ориентированы с юга на север).

Fig. 14. A field of wells on the Aurgazinsk area. Karst well field: (a) – October 2022, (b) – March 2023; (b) and (r) – wells with snow in the sides and bottom in March 2023. Photo by V.L. Mashin (all photos are oriented from south to north).

Предуралье и на 50–60 м в западных предгорьях Южного Урала.

Еще одной особенностью мест расположения колодцев является отсутствие на них древесно-кустарниковой растительности и хорошая “продуваемость” межовражных пространств, что препятствует формированию мощного снежного покрова. Даже в конце зимы мощность его там не превышает 0.2 м, а к концу марта он полностью сходит. Между тем при преобладающих западных ветрах выпадающий за зиму снег скапливается в колодцах и может сохраняться в них до начала мая (рис. 14).

Вполне вероятно, что повсеместное сходство форм и размеров колодцев, а также их однотипная геоморфологическая приуроченность распространения при однообразном геологическом строении мест их развития, обусловлены одинаковым механизмом их образования.

По мнению В.Н. Дублянского (1977), изучавшего пещеры и шахты горного Крыма, механизм образования нивально-коррозионных колодцев относительно прост: снег, накапливаясь зимой в углублениях, летом постепенно тает, растворяя известняки (Дублянский, 2000). В Южном Предуралье атмосферные осадки и снеговая вода с дефицитом насыщения к гипсу до 2.5 г/дм^3 , также могут способствовать формированию колодцев. Действительно, Г.Г. Скворцовым (1962) экспериментально установлено, что призмы различных разновидностей гипсов в слабоминерализованной (до 0.5 г/дм^3) воде растворяются со скоростью 3.1–4.7 см/год.

Следует отметить, что на Селеукском участке колодцы встречаются на фрагментах цокольной террасы долины р. Селеук с превышением над рекой 50–60 м. Этот высотный интервал на широте г. Стерлитамак соответствует уровню V надпойменной террасы долины р. Белой, возраст которой оценивается как ранний–средний неоплейстоцен (Борисевич, 1992). Если предположить, что нивально-коррозионные колодцы начали развиваться одновременно с формированием V надпойменной террасы, то возраст колодцев является относительно древним.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые приведены сводные данные о нивально-коррозионных колодцах Южного Предуралья, сформированных в гипсах кунгурского яруса приуральского отдела пермской системы в условиях открытого (голового, или средиземноморского) карста. Установлен площадной и локальный характер их распространения на Прибельской равнине и в западных предгорьях Южного Урала.

Площадное распространение характеризуется наличием карстовых полей, которое зафиксировано на Аургазинском и Селеукском участках, где их плотность — одна из самых высоких в Южном Предуралье. Прочие нивально-коррозионные колодцы распределены локально на небольших по площади участках, где гипсы кунгура также выведены на поверхность. Там они встречаются одиночно или небольшими группами. Однообразные размеры и форма колодцев, а также их приуроченность к определенным элементам рельефа позволяют предполагать сходный механизм их образования на всей территории Южного Предуралья, связанный с деятельностью талых снеговых вод. Определяющими факторами образования нивально-коррозионных колодцев являются определенный литотип карстующихся гипсов, слагающий субгоризонтальные или слабонаклонные безлесные участки междуречий и характер формирования снежного покрова на них.

Дальнейшие исследования нивально-коррозионных колодцев должны быть направлены на определение их возраста.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено по государственной бюджетной теме FMRS-2022-0010.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Борисевич Д.В. (1992). Неотектоника Урала. *Геотектоника*. № 1. С. 57–67.
- Дублянский В.Н. (1977). Карстовые пещеры и шахты Горного Крыма. Л.: Наука. 182 с.
- Дублянский В.Н. (2000). Занимательная спелеология. Челябинск: Урал LTD. 526 с.
- Зверев В.П. (1967). Гидрогеохимические исследования системы гипсы — подземные воды. М.: Наука. 99 с.
- Рожdestвенский А.П. (1971). Новейшая тектоника и развитие рельефа Южного Приуралья. М.: Наука. 286 с.
- Скворцов Г.Г. (1962). Вопросы инженерно-геологического изучения и оценки карста в основании железнодорожных сооружений. В сб.: *Специальные вопросы карстоведения*. М.: Изд-во АН СССР. С. 43–57.
- Смирнов А.И. (2005а). Генетические типы и формы рельефа. В кн.: *Атлас Республики Башкортостан*. Правительство Республики Башкортостан. Уфа: Китап. С. 65.
- Смирнов А.И. (2005б). Карст. В кн.: *Атлас Республики Башкортостан*. Правительство Республики Башкортостан. Уфа: Китап. С. 60.
- Смирнов А.И. (2014). Открытый сульфатный карст Южного Предуралья. *Геологический сборник*. № 11. С. 243–248.
- Смирнов А.И. (2018). Карта сульфатного карста Южного Предуралья (содержание, принципы и методика построения). *Инженерная геология*. Т. XIII № 1-2. С. 86–94. <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2018-13-1-2-86-94>

- Смирнов А.И. (2020). Современные карстовые провалы на территории Южного Урала и Предуралья (в границах Республики Башкортостан). *Инженерная геология*. Т. XV. № 4. С. 42–53.
<https://doi.org/10.25296/1993-5056-2020-15-4-42-53>
- Смирнов А.И. (2023). Нетрадиционные типы карста Южного Урала и Предуралья. *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геоэкология*. № 3. С. 26–36.
<https://doi.org/DOI: 10.31857/S0869780923030104>
- Смирнов А.И., Соколов Ю.В. (2021). Ишеевский участок – уникальный карстово-спелеологический объект Южного Предуралья. *Известия Русского географического общества*. Т. 153. № 3. С. 63–75.
<https://doi.org/10.31857/S086960712103006X>
- Смирнов А.И., Соколов Ю.В. (2022). Распространение пещер с многолетним льдом на Южном Урале и в Предуралье. *Лед и снег*. Т. 62. № 3. С. 363–376.
<https://doi.org/10.31857/S2076673422030138>
- Соколов Д.С. (1962). Основные условия развития карста. М.: Госгеолтехиздат. 322 с.
- Тимофеев Д.А., Дублянский В.Н., Ккикнадзе Т.З. (1991). Терминология карста. М.: Наука. 259 с.
- Черняева Л.Е., Черняев А.М., Могиленских А.К. (1978). Химический состав атмосферных осадков (Урал и Приуралье). Л.: Гидрометеиздат. 179 с.
- Яхимович В.Л. (1971). Этапы геологического развития Башкирского Предуралья в неогене. В сб.: *Стратиграфия неогена востока Европейской части СССР*. М.: Недра. С. 45–64.

НИВАЛЬНО-КОРРОЗИВНЫЕ КОЛОДЦЫ ЮЖНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ (ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ)¹

А. И. Смирнов^{а, #}

^а Institute of Geology, UB RAS, Ufa, Russia

[#] E-mail: smail@mail.ru

It has been established that two main genetic types of wells are common in the region: karst-gravitational and nival-corrosive. The first ones are widely spread karst sinkholes, the second ones are rare negative landforms formed as a result of nival corrosion caused by snow melt water. The nival-corrosive wells are formed in gypsum of the Kungurian Stage of the Cisuralian Series of the Permian system in conditions of open (bare or Mediterranean) karst. The maximum distribution of such wells was recorded in two areas of karst gypsum outcrop in the watershed areas: Aurgazinsky – on the Pribelsk rolling and wavy plain and Seleuksky – in the western hilly foothills of the Southern Urals. In these areas, wells form karst fields. The density of wells per 1 km² in such fields reaches 5 thousand. This is the highest occurrence of surface karst in the Southern Cis-Ural region. In the rest of the region, nival-corrosive wells are distributed singly and do not form karst fields, but they are also formed in places of karst gypsum outcrops on the surface of watershed spaces. The uniform morphology and morphometry of wells has been recorded everywhere, and their uniform confinedness to certain relief features has been established. With the general conditionally cylindrical shape of the wells, their average diameter is 5 m, and their depth is 10 m. Everywhere wells are formed in the valley-side flattened parts of the watershed spaces that abruptly adjoin steep slopes of river valleys. The determining factor in the formation of wells in different parts of the region are similar geological and geomorphological conditions of their places of distribution – the similar lithotype of karst gypsum outcropped on flat or slightly inclined surfaces of watersheds. The proposed mechanism for the formation of wells, caused by the activity of meteoric (mainly snow) waters, is given.

Keywords: lowland Cis-Urals, western foothills of the Southern Urals, gypsum of the Kungurian Stage, aggressivity of meteoric waters

ACKNOWLEDGMENTS

The study was carried out within the framework of the State budget theme FMRS-2022-0010.

REFERENCES

- Borisevich D.V. (1992). Urals Neotectonics. *Geotektonika*. № 1. P. 57–67. (in Russ.)
- Chernyaeva L.E., Chernyaev A.M., Mogilenskih A.K. (1978). Himicheskii sostav atmosferykh osadkov (Ural i Priural'e) (The chemical composition of atmospheric precipitation (the Urals and Cis-Urals). Leningrad: Gosgeoltekhizdat (Publ.). 179 p. (in Russ.)
- Dublyanskij V.N. (1977). Karstovye peshchery i shakhty Gornogo Kryma (Karst caves and mines of the Crimean Mountains). Leningrad: Nauka (Publ.). 182 p. (in Russ.)
- Dublyanskij V.N. (2000). Zanimatel'naya speleologiya (Entertaining speleology). Chelyabinsk: Ural LTD (Publ.). 526 p. (in Russ.)
- Rozhdestvenskij A.P. (1971). Noveishaya tektonika i razvitiye rel'efa Yuzhnogo Priural'ya (The latest tectonics and

¹ For citation: Smirnov A.I. (2024). Nival-corrosive wells of the Southern Cis-Ural (features of distribution and formation). *Geomorfologiya i Paleogeografiya*. V. 55. № 4. P. 144–156. <https://doi.org/10.31857/S2949178924040095>; <https://elibrary.ru/FFRTOQ>

- development of the relief of the Southern Urals). Moscow: Nauka (Publ.). 286 p. (in Russ.)
- Skvorcov G.G. (1962). Issues of engineering-geological study and assessment of karst at the base of railway structures. In: *Spetsial'nye voprosy karstovedeniya*. Moscow: AN SSSR (Publ.). P. 43–57. (in Russ.)
- Smirnov A.I. (2005a). Karst. In: *Atlas Respubliki Bashkortostan. Pravitel'stvo Respubliki Bashkortostan*. Ufa: Kitap (Publ.). P. 60. (in Russ.)
- Smirnov A.I. (2005b). Relief genetic types and landforms. In: *Atlas Respubliki Bashkortostan. Pravitel'stvo Respubliki Bashkortostan*. Ufa: Kitap (Publ.). P. 65. (in Russ.)
- Smirnov A.I. (2014). Open sulfate karst of the Southern Urals. *Geologicheskii sbornik*. № 11. P. 243–248. (in Russ.)
- Smirnov A.I. (2018). The sulphate karst map of the Southern Cis-Ural region (content, principles and mapping methodology). *Inzhenernaya geologiya*. V. XIII. № 1-2. P. 86-94. (in Russ.)
<https://doi.org/10.25296/1993-5056-2018-13-1-2-86-94>
- Smirnov A.I. (2020). Modern karst sinkholes in the Southern Urals and Cis-Urals (within the borders of the Republic of Bashkortostan). *Inzhenernaya geologiya*. V. XV. № 4. P. 42–53. (in Russ.)
<https://doi.org/10.25296/1993-5056-2020-15-4-42-53>
- Smirnov A.I. (2023). Atypical types of karst in the Southern Urals and Cis-Urals. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*. № 3. P. 26–36. (in Russ.)
<https://doi.org/10.31857/S0869780923030104>
- Smirnov A.I., Sokolov Yu.V. (2021). Isheevsky site is a unique karst-speleological object of the Southern Urals. *Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva*. V. 153. № 3. P. 63–75. (in Russ.)
<https://doi.org/10.31857/S086960712103006X>
- Smirnov A.I., Sokolov Yu.V. (2022). Distribution of karst caves with perennial ice in the Southern Urals and in the Cis-Urals. *Ice and Snow*. V. 62. № 3. P. 363–376. (in Russ.)
<https://doi.org/10.31857/S2076673422030138>
- Sokolov D.S. (1962). Osnovnye usloviya razvitiya karsta (The main conditions for the development of karst). Moscow: Gosgeoltekhizdat (Publ.). 322 p. (in Russ.)
- Timofeev D.A., Dublyanskij V.N., Kkiknadze T.Z. (1991). Terminologiya karsta (Karst terminology). Moscow: Nauka (Publ.). 259 p. (in Russ.)
- Yahimovich V.L. (1971). Geological development stages of the Bashkir Urals in the Neogene. In: *Stratigrafiya neogena vostochno Evropeiskoi chasti SSSR*. Moscow: Nedra (Publ.). P. 45–64. (in Russ.)
- Zverev V.P. (1967). Gidrogeokhimicheskie issledovaniya sistemy gipsy – podzemnye vody (Hydrogeochemical studies of the gypsum-groundwater system). Moscow: Nauka (Publ.). 99 p. (in Russ.)