

НАУЧНЫЕ  
СООБЩЕНИЯ

УДК 551.435.8(234.853)

ПОРАЖЕННОСТЬ РЕЛЬЕФА ЮЖНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ ФОРМАМИ  
СУЛЬФАТНОГО КАРСТА© 2020 г. А. И. Смирнов<sup>1,\*</sup>, Р. Ф. Абдрахманов<sup>1</sup>, В. Н. Дурнаева<sup>1</sup><sup>1</sup> Институт геологии УФИЦ РАН, Уфа, Россия

\*E-mail: hydro@ufaras.ru

Поступила в редакцию 06.09.2018 г.

После доработки 14.11.2018 г.

Принята к публикации 19.03.2019 г.

Сульфатный карст в Южном Предуралье развит в гипсах кунгурского яруса нижней перми и является самым опасным типом карста для рассматриваемой территории. Поверхностные его проявления представлены воронками, колодцами, котловинами, карстовыми и эрозионно-карстовыми логами и оврагами, карстовыми родниками и озерами. Пораженность территории поверхностным карстом находится в прямой зависимости от неотектоники. Этапы активного формирования чередуются с периодами экранизации, они сокращаются от плиоцена к голоцену вследствие уменьшения дренируемости карстующейся толщи. В результате оценки распространения карстовых форм рельефа на участках с однородными условиями и типами карста, через суммарное отношение их площади (%) и количества (шт. на 1 км<sup>2</sup>) к площади участка установлено, что пораженность поверхностными карстопроявлениями закономерно уменьшается с увеличением мощности покрывающих гипсы отложений, увеличивается от слабо водопроницаемых покровных отложений к перекрывающим породам, водопроницаемость которых обусловлена их пористостью, увеличивается от участков с затрудненным водообменом трещинно-карстовых вод к участкам, где сформирована обстановка их интенсивного водообмена, и от молодых поверхностей рельефа к более древним.

*Ключевые слова:* типы карста, плиоцен-четвертичное время, палеодолины рек, поверхностные карстопроявления, показатель пораженности

**DOI:** 10.31857/S0435428120020078

## ВВЕДЕНИЕ

Карст известен в Южном Предуралье еще с середины XVIII века, со времен первых экспедиций Российской Академии Наук. Он развит достаточно широко — почти на 30% территории распространены поверхностные его формы: около 45% городского и 20% сельского населения проживает в районах его распространения.

Развитие карста на той или иной территории практически всегда вызывает ухудшение инженерно-геологических условий строительства, вынуждает проводить специальные изыскания, предусматривать и осуществлять меры противокарстовой защиты, а при авариях на инженерных сооружениях тратить значительные средства, направленные на их ликвидацию.

Как правило, карстовый процесс протекает в толще горных пород и скрыт от непосредственного изучения. Поэтому очень часто первоначально обследуются карстовые формы, которые дают ценную информацию о механизме, динамике и активности его развития. В дальнейшем она используется для определения оптимального объема работ (буровые, геофизические и др. виды), необходимого для решения как чисто прак-

тических задач (инженерно-геологические изыскания под строительство), так и общенаучных (геоморфологические, ландшафтные и др. исследования) [1–4 и др.].

Сведения о карстовых формах Южного Предуралья содержатся в многочисленных публикациях, фондовых и архивных материалах, которые почти за 300-летний период исследований систематизированы и обобщены в монографии по карсту Башкортостана [5]. В то же время закономерности распространения и формирования карстового рельефа в зависимости от типа карста и перекрытия карстующихся пород некарстующимися раскрыты недостаточно.

### ТИПЫ КАРСТА ЮЖНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

Южное Предуралье относится к карстовой стране Восточно-Европейской равнины (рис. 1), где развит равнинный карст в горизонтально и пологозалегающих породах на платформенной части (I-A), а также равнинный и предгорный карст в пологозалегающих и слабо дислоцированных породах в пределах Предуральского прогиба (I-B). К востоку от Предуральского прогиба выделяется Уральская карстовая страна (II).

По составу карстующихся пород здесь выделяются: сульфатный, карбонатный, сульфатно-карбонатный карст, карст известковых туфов и кластокарст. При этом самым активно развивающимся на современном этапе и самым опасным в плане образования карстовых провалов является сульфатный карст, который связан главным образом с гипсами кунгурского яруса нижней перми. В статье рассматривается сульфатный и сульфатно-карбонатный карст Восточно-Европейской карстовой страны в пределах Южного Предуралья.

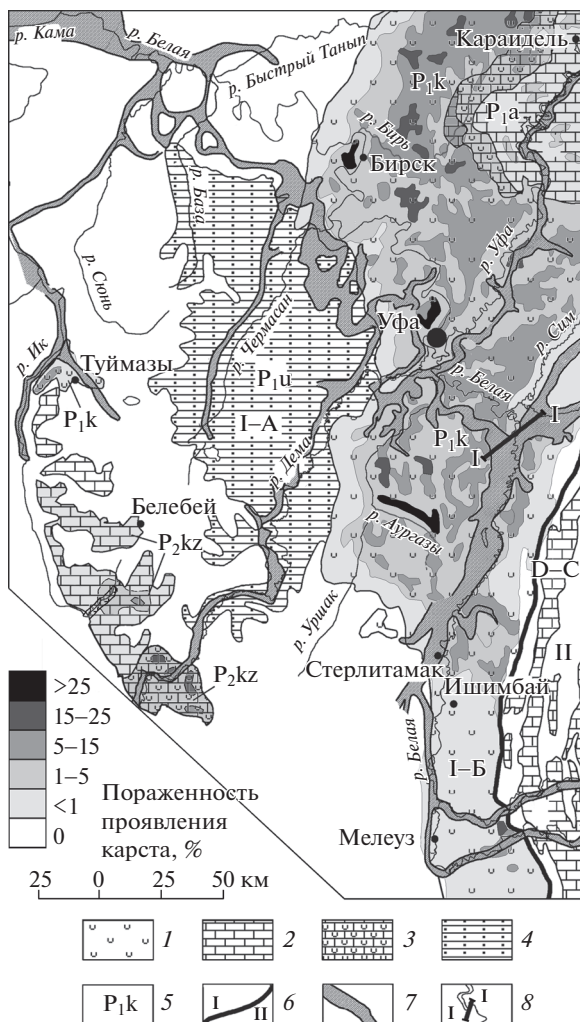
По геоморфологическим условиям в Южном Предуралье выделяются два типа карста: речных долин и междуречий. Главным основанием выделения этих типов является установленная еще в 1962 г. Д.С. Соколовым [4] общая закономерность более интенсивной закарстованности долин-дрен в сравнении с междуречьями. По характеру разгрузки подземных вод в речных долинах выделяются две основные гидродинамические обстановки: интенсивного водообмена, которая типична для крутых склонов; и затрудненного водообмена – на пологих склонах и низких междуречьях, покрытых чехлом суглинисто-глинистых неоген-четвертичных отложений.

По степени перекрытости карстующихся пород, составу и характеру залегающих над ними отложений в Южном Предуралье традиционно выделяются открытый (голый или средиземноморский), закрытый (русский), покрытый и перекрытый (подальювиальный или камский) типы карста. На отдельных участках наблюдается сочетание нескольких из указанных типов. В последнее время обособлен еще один тип карста – прикрытый. Он выделяется на участках, где карстующаяся толща, в отличие от покрытого типа карста, прикрыта только маломощным чехлом современных элювиально-делювиальных отложений [6, 7]. Краткая характеристика типов карста по степени перекрытости карстующихся пород некарстующимися приведена в табл. 1.

### ЦЕЛЬ, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Целью исследования является выявление пространственных закономерностей распространения поверхностных карстопроявлений на основе их количественных показателей, которые ранее для рассматриваемой территории не определялись. Главными факторами, влияющими на интенсивность карстообразования, являются: история формирования рельефа, состав и мощность перекрывающих отложений.

Наиболее представительным, на наш взгляд, показателем является пораженность территории поверхностными карстопроявлениями. По своей сути она является аналогом таких показателей, как “плотность воронок” и “коэффициент закарстованности”. Принципиальным отличием от них является то, что пораженность территории карстом определяется не в пределах карстовых полей, как, например, коэффициент за-



**Рис. 1.** Схематическая карта типов карста Южного Предуралья.

*Типы карста:* 1 – сульфатный, 2 – карбонатный, 3 – сульфатно-карбонатный, 4 – кластокарст; 5 – возраст карстующихся пород; 6 – граница карстовых стран (I – Восточно-Европейская, II – Уральская); 7 – контур палеодолины; 8 – разрез палеодолины в среднем течении р. Белой (устье р. Сим) по линии I–I.

карстованности, а в пределах участков с однородными геолого-гидрогеологическими и геоморфологическими обстановками и типами карста. Она определяет суммарную (накопленную) величину изменения геологической среды в результате развития карста за длительный промежуток времени [7]. То есть она характеризует общий “вековой” характер развития карста и, в отличие от коэффициента закарстованности, отражает интенсивность распространения его проявлений в региональном плане.

Как и коэффициент закарстованности, пораженность территории карстом выражается двумя показателями – площадным и частотным. Первый представляет собой процентное отношение суммарной площади всех зафиксированных карстовых полей

**Таблица 1.** Типы сульфатного карста Южного Предуралья по степени перекрытости карстующихся пород некарстующимися

Тип карста	География распространения	Покрывающие породы	Мощность*, м
Открытый	Прибельская равнина в нижнем течении р. Аургазы и в долинах правых притоков р. Белой	Отсутствуют	—
Прикрытый	Прибельская равнина, Бугульмино-Белебеевская возвышенность, Общий Сырт с наибольшим распространением на Уршак-Бельском и Сим-Уфимском междуречьях	Элювиально-делювиальные (слабоводопроницаемые) современные отложения	менее 15
Покрытый	Повсеместно, с наибольшим распространением на Прибельской равнине, на междуречьях в бассейне р. Белой и в нижнем течении рр. Уфы, Уршака, Демы и др.	Морские осадки ачкагыльского и апшеронского ярусов, элювиально-делювиальные отложения общесыртовой свиты с поровой водопроницаемостью	25–40
Закрытый	Повсеместно, с наибольшим распространением на Прибельской равнине, на междуречьях и пологих склонах	Скальные и полускальные породы уфимского яруса средней перми с трещинной водопроницаемостью	50–60, редко до 100
Перекрытый	Речные террасы долины нижнего и среднего течения рр. Белой, Уфы, Симы, Демы, Уршака, Бири и др.	Глинистые (слабоводопроницаемые) и гравийно-галечные отложения плейстоцена и плиоцена с поровой водопроницаемостью	менее 40

\* – Предельная мощность покрывающих карстующиеся породы отложений, при которой карст проявляется на поверхности.

и отдельных поверхностных карстопоявлений к площади участка, в пределах которого они развиты, второй – их количество, приходящееся на 1 км<sup>2</sup> площади.

Исходными данными для оценки интенсивности сульфатного карста Южного Предуралья послужили карты пораженности территории проявлениями экзогенных процессов м-ба 1:200000, содержащиеся в производственных отчетах ОАО “Башкиргеология” за 1986 и 1989 г. Карты пораженности составлены на основе дешифрирования аэрофотоснимков м-ба 1:17500–1:25000, которые подтверждены полевыми исследованиями на ключевых участках. Позже для Западного Башкортостана была составлена мелкомасштабная карта, на которой отражена закарстованность территории в зависимости от главного фактора – состава карстующихся пород [8].

Собранные и систематизированные данные по пораженности территории поверхностными проявлениями сульфатного карста позволили впервые оценить его распространение в Южном Предуралье в зависимости от развития на новейшем этапе.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Поверхностные проявления сульфатного карста Южного Предуралья представлены воронками, колодцами, котловинами, карстовыми и эрозионно-карстовыми логами и оврагами, карстовыми родниками и озерами. Распространение карстовых форм и активность их развития определяется рядом факторов.

**Формирование рельефа Южного Предуралья.** Основные черты рельефа региона сформированы в новейшее время [9–11]. Неотектонический этап начался в конце миоцена после формирования региональной поверхности выравнивания. В раннем плиоцене произошло поднятие юго-востока Русской платформы (до 400 м), с ним

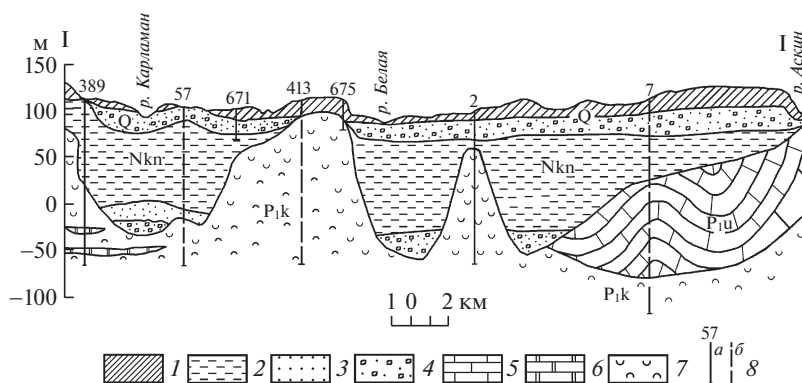


Рис. 2. Геологический разрез (I–I) долины р. палео-Белая в среднем течении (устье р. Сим) [9].

1 – сулинки; 2 – глины; 3 – пески; 4 – гравийно-галечные отложения; 5 – известняки; 6 – доломиты; 7 – гипсы, ангидриты; 8 – скважины (а – на профиле (вверху – номер по первоисточнику), б – перенесенная на профиль).

связано глубокое врезание речной сети. Расчленение предопределило формирование мощной зоны (150–200 м) дренирования карстующейся толщи (рис. 2). В дальнейшем тектонические подвижки привели к подтоплению сформированных долин и накоплению в них аллювиальных и лиманных осадков. В среднем ачкагыле воды Каспийского моря проникли далеко в глубь Южного Предуралья и даже затопливали 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 конце плиоцена и в начале раннего плейстоцена Южное Предуралье испытало новый подъем, выразившийся в образовании прадолин рек, заполненных песчано-галечным аллювием и переуглубленных по отношению к современным до 25–30 м [12]. 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.

**Перекрывающие некарстующиеся породы.** Сегодня достоверно установлено, что поверхностная закарстованность в Южном Предуралье постепенно уменьшается по мере погружения гипсов кунгурского яруса в западном направлении под некарстующиеся верхнепермские отложения. Там же, где гипсы залегают на глубине более 100 м, закарстованность практически отсутствует (см. рис. 2). И наоборот: наиболее закарстованы выходы гипсов на поверхность.

Прочностные свойства перекрывающих пород также определяют очертания карстовых форм. Трещиноватость прочных пород часто придает им линейный характер. В то же время в суглинисто-глинистых слабопроницаемых покровных отложениях и песчано-гравийных породах карстовые формы распространены относительно равномерно.

**Региональная интенсивность поверхностных карстопоявлений.** Еще в середине XX века установлено, что древние (мио-плиоценовые) карстовые формы намного крупнее (<100 м), чем образующиеся сегодня (обычно >10 м). Это объясняется благоприятными факторами развития карста в раннем плиоцене, главными из которых были предкиньельский врез и формирование палеодолин. В дальнейшем карст был погребен под морскими осадками. Действительно, в Южном Предуралье в контурах палеодолин

рр. Белой, Уфы, Демы и др., выполненных преимущественно глинистыми осадками кинельской свиты (до 200 м), поверхностные карстопроявления практически не фиксируются. Между тем установлено, что современные крупные карстовые провалы с поперечником более 10–15 м в настоящее время наиболее часто образуются в прибортовых частях палеодолин. То есть в первом случае палеодолины выполняют экранирующую роль по отношению к карстовым формам рельефа, во втором, наоборот, – дренирующую, способствующую активному развитию карста и проявлению его на поверхности.

Таким образом, долины крупных рек в большей степени поражены поверхностным карстом, чем долины мелких рек. Поля карстовых воронок на речных террасах Белой и Уфы занимают местами более 15% площади. Пораженность террас по их притокам первого порядка обычно не превышает 10%, а по притокам третьего и более высоких порядков – менее 5%. Нужно подчеркнуть, что здесь используется гидрографическая, “восходящая” классификация притоков. К этому следует добавить, что новые провалы и воронки чаще возникают около и в пределах древних карстовых форм, что обусловлено их унаследованным развитием. Активизированный в предкинельское время карст более активен на них и в настоящее время, что признается всеми исследователями карста Южного Предуралья.

Наиболее распространен сульфатный карст на Прибельской равнине. В холмисто-увалистой ее части (к северу от Уфы) преимущественно со структурно-денудационным рельефом [13] его больше и формы его более разнообразны (воронки, колодцы, котловины, слепые и полуслепые лога, озера, родники), чем в пологоволнистой части равнины с эрозионно-аккумулятивным типом рельефа, где карстовые формы представлены преимущественно блюдце-, реже чашеобразными воронками. В акчагыл-апшеронское время туда проникали морские воды, и расчленение было погребено под глинистыми осадками. В холмисто-увалистой части равнины масштабного подтопления не было, и карст развивался унаследованно.

Установлено также, что пораженность карстом выше на участках неотектонических поднятий: на Уфа-Симском и Уршак-Бельском междуречьях, в бассейне р. Бирь и др. На связь активности развития карста с неотектоникой указывал еще в 1969 г. Г.В. Вахрушев [14], что сегодня подтверждается количественными показателями. Так, в бассейне р. Бирь (на Новоиликовском и Спасском поднятиях) пораженность достигает 29%, тогда как в понижениях между ними она не превышает 5–10%. В нижнем течении р. Бирь (на Уржумовском поднятии) закарстованность составляет 17% при частоте воронок 21.5 единиц на 1 км<sup>2</sup>, а на соседних участках при моноклинальном залегании карстующихся гипсов кунгура она не превышает 4%, где на 1 км<sup>2</sup> приходится не более 5 воронок.

**Локальная интенсивность поверхностного карста.** Вполне естественно, что наибольшая (57%) закарстованность характерна для выходов гипсов кунгурского яруса на поверхность, а количество воронок, приходящихся на 1 км<sup>2</sup> – 400 и даже 1100 (правобережья рр. Аургазы и Селеук в их нижнем течении). Установлено, что такая высокая плотность карстовых форм рельефа характерна для участков, где на поверхность выведены белые, “чистые” по составу сахаровидные гипсы кунгура, и обусловлена наличием коррозионно-эрозионных колодцев (рис. 3) [16]. На этих участках отмечается и максимальное разнообразие карстовых форм – как отрицательных (воронки, колодцы, впадины, котловины и др.), так и положительных (карстовые мосты и арки, останцы). Ведущие карстоведы Пермской школы – Е.П. Дорофеев и В.С. Лукин, посетившие участок открытого карста в долине р. Аургазы, назвали его даже природным карстово-спелеологическим музеем [15]. На первой террасе ими описаны карстовые останцы, самый крупный из которых размером 230×140 м в основании и около 40 м в



Рис. 3. Карстовый останец на правобережье р. Аургазы в 0.6 км выше ее устья (август, 2018).

верхней части имеет конусообразную форму. Подобные останцы в районах развития сульфатного карста в Южном Предуралье больше нигде не встречаются.

На участках, где гипсовая толща кунгура прикрыта маломощным (до 10 м) плащом элювиально-делювиальных отложений (*прикрытый карст*), пораженность составляет менее 30%, а частота — не более 50 карстовых форм на 1 км<sup>2</sup>.

Зависимость сульфатного карста Южного Предуралья отмечается также от возраста рельефа и от литологии пород, перекрывающих гипсы.

Так, закарстованность под неогеновыми водопроницаемыми отложениями (*покрытый карст*) в целом меньше, чем под верхнепермскими породами (*закрытый карст*). На участках, где мощность неогеновых отложений менее 25 м, закарстованность достигает 10%, обычно же она не превышает 5%. Количество воронок на участках распространения неогена не превышает 3 (редко больше) на 1 км<sup>2</sup>. Еще меньше поражены области развития слабоводопроницаемых отложений плиоцен-четвертичного возраста, в пределах которых площадь поверхностных карстопроявлений при любой их мощности редко достигает 2%, а количество воронок обычно не превышает 3 на 1 км<sup>2</sup>.

В долинах рр. Белой, Уфы, Сима, Инзера, где гипсы кунгура залегают под глинистыми плио-плейстоценовыми осадками мощностью более 70 м, карстовые формы практически отсутствуют. Они встречаются на речных террасах, где глубина залегания гипсов менее 40 м. Сосредотачиваются они в таких случаях над гипсовыми куполами и погребенными эрозионными останцами.

Поверхностная закарстованность речных террас не превышает 10%, обычно составляет 2–5%, а количество воронок не бывает больше 3 на 1 км<sup>2</sup> (меридиональные течения рр. Белой, Уфы и др.). Более всего распространены карстовые воронки на вторых надпойменных террасах на участках, в пределах которых между грунтовыми водами четвертичного аллювия и карстовыми водами кунгурского яруса имеется гидравлическая связь, что способствует дополнительно развитию суффозионного процесса. Пораженность карстово-суффозионными воронками на таких участках достигает 29%, при 22 воронках на 1 км<sup>2</sup> (субмеридиональное течение р. Белой от г. Уфы до г. Бирска). При этом максимум (до 51%, при 37 воронках на 1 км<sup>2</sup>) отмечается на крутых излучинах р. Белой, где условия для развития суффозии более благоприятны в сравнении с прямолинейными отрезками и первой надпойменной террасой долины реки.

Первая терраса повсеместно поражена карстом меньше, чем вторая. Например, на отрезке р. Белой в 30 км ниже по течению от г. Уфы (от с. Удельный Дуваней до с. Ка-

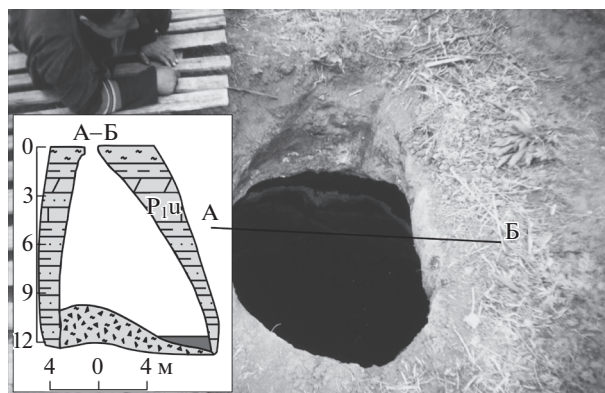


Рис. 4. Карстовый провал в д. Мурадым Аургазинского района (май, 2001).

линники) карстовые поля на первой террасе занимают 2%, на второй – 17%, а на 1 км<sup>2</sup> их площади приходится соответственно 1.4 и 13.4 воронки. То есть при одинаковом составе покровных отложений (песчано-гравийно-галечные) главным фактором распространения карста выступает время их формирования.

Интенсивность карста на участках распространения терригенных и карбонатно-терригенных уфимских и соликамских пород (*закрытый карст*) обычно не превышает 10%, а количество карстовых форм рельефа на 1 км<sup>2</sup> – редко более 10. Скальные и полускальные пермские породы, залегающие над гипсами, препятствуют проявлению карста на поверхности. Современные провалы в них зависят от размеров сформированных в гипсах карстовых полостей и скорости обрушения их сводов. Провалы нередко сопровождаются содроганием грунта, которое ощущается населением на расстоянии до 1.5 км от места их образования (рис. 4). То есть карстовые провалы вызывают землетрясения экзогенного происхождения силой до 2–3 баллов.

Наиболее часты и многообразны формы сульфатного карста на коренных склонах долин (*карст речных долин*). При этом на крутых и высоких обрывах в обстановке активного водообмена карстовые формы более разнообразны и многочисленны, чем на низких и пологих, где водообмен затруднен. Крутые склоны с обнажениями гипсов и примыкающие к ним части междуречий шириной от 0.5–0.8 до 1.2–1.5 км поражены карстом более чем на 10%, а пологие склоны – от 3 до 5%. Глубина карстовых воронок увеличивается при подъеме толщи гипсов над долинами рек.

На междуречьях карстопроявления редки и однообразны по форме. Их пораженность нигде не превышает 3%, причем она всегда выше на более расчлененных междуречьях, что обуславливает их лучшую дренируемость, способствующую развитию карста.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интенсивность самого опасного для Южного Предуралья сульфатного карста находится в прямой зависимости от неотектоники. Этапы активного формирования поверхностных проявлений карста чередуются с периодами их экранизации, что подтверждается количественными показателями пораженности территории карстовыми формами рельефа. Активность их формирования закономерно уменьшается от плиоцена к голоцену вслед за уменьшением дренируемости карстующейся толщи гипсов кунгура.



История формирования рельефа в неоген-четвертичное время во многом определила также степень и характер прикрытости карстующихся пород некарстующимися, существенно влияющими на интенсивность распространения карстовых форм рельефа:

– максимальное распространение поверхностных карстопоявлений наблюдается на участках открытого карста;

– при одинаковом составе покрывающих карстующиеся породы отложений пораженность поверхностными карстопоявлениями обратно пропорциональна их мощности;

– при одинаковой мощности покровных отложений плотность поверхностных проявлений карста увеличивается от крепких в физико-механическом отношении пород к более слабым и от водонепроницаемых пород к водопроницаемым по трещинам, при наибольшей пораженности ими покровных отложений, водопроницаемость которых обусловлена их пористостью;

– при одинаковой мощности и составе покровных отложений поверхностная закарстованность закономерно уменьшается от древних форм рельефа к молодым и от положительных неотектонических структур к отрицательным или к участкам с моноклиальным залеганием гипсов.

Распространение карста во многом зависит и от гидродинамики, которая также находится в тесной связи с формированием рельефа. На участках речных долин с интенсивным водообменом закарстованность всегда выше, чем на участках с замедленным водообменом, а на междуречьях закарстованность всегда ниже, чем на склонах долин и придолинных участках.

Дальнейшие исследования карста Южного Предуралья должны быть направлены на выявление пространственных закономерностей распространения проявлений других типов карста – сульфатно-карбонатного, карбонатного и особенно кластокарста, который наиболее опасен для малых гидротехнических сооружений. Эти исследования наиболее целесообразно проводить с использованием современных геоинформационных технологий, которые сегодня широко используются для оценки и прогноза развития наблюдаемых природных процессов, событий и явлений, пространственного и временного анализа данных, оперативного ввода и анализа информации.

В настоящее время нами начата работа по составлению ГИС-проекта “Карст Южного Урала и Предуралья” м-ба 1:500 000, создаваемого на основе отечественного программного продукта ГИС “Карта 2011” (КБ “Панорама”, г. Москва). Создание ГИС-проекта направлено на выявление пространственных закономерностей распространения карстовых форм по площадям и участкам, выделенных по заданным признакам (типам карста, формам и элементам рельефа, неотектоническим структурам, гидрогеологическим обстановкам и др.). В конечном счете это позволит оценить картоопасность как отдельных частей Южного Урала и Предуралья, так и в целом всего региона развития карста [17].

#### БЛАГОДАРНОСТИ

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

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Родионов Н.В. Инженерно-геологические исследования в карстовых районах при устройстве малых водохранилищ, гражданском и промышленном строительстве. М.: Госгеолтехиздат, 1958. 183 с.
2. Максимович Г.А. Основы карстоведения. Т. I. Пермь: Пермск. кн. изд-во, 1963. 444 с.
3. Гвоздецкий Н.А. Проблемы изучения карста и практика. М.: Мысль, 1972. 392 с.
4. Соколов Д.С. Основные условия развития карста. М.: Госгеолтехиздат, 1962. 322 с.

5. Абдрахманов Р.Ф., Мартин В.И., Попов В.Г., Рождественский А.П., Смирнов А.И., Травкин А.И. Карст Башкортостана. Уфа: Информреклама, 2002. 383 с.
6. Смирнов А.И. Карта сульфатного карста Южного Предуралья (содержание, принципы и методика построения) // Инженерная геология. 2018. Т. XIII. № 1–2. С. 86–94. <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2018-13-1-2-86-94>
7. Шеко А.И., Лехатинов А.М., Максимов М.М. Количественная оценка интенсивности проявления экзогенных геологических процессов при инженерно-геологической съемке // Тр. ВСЕГИНГЕО. Вып. 3. 1971. С. 89–95.
8. Смирнов А.И. Карст // Атлас Республики Башкортостан. Уфа: Китап, 2005. С. 60.
9. Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г. Связь карстовых процессов и проявлений с неогеновыми долинами системы палео-Белой в Южном Предуралье // Геоморфология. 2017. № 3. С. 48–59.
10. Рождественский А.П. Новейшая тектоника и развитие рельефа Южного Приуралья. М.: Наука, 1971. 286 с.
11. Плиоцен и плейстоцен Волго-Уральской области / Под ред. М.А. Камалетдинова и В.Л. Яхимович. М.: Наука, 1981. 162 с.
12. Сиднев В.А. История развития гидрографической сети плиоцена в Предуралье. М.: Наука, 1985. 221 с.
13. Смирнов А.И. Генетические типы и формы рельефа // Атлас Республики Башкортостан. Уфа: Китап, 2005. С. 65.
14. Вахрушев Г.В. Неотектоника и современные карстовые провалы в Западной Башкирии // Материалы по геоморфологии и новейшей тектонике Урала и Поволжья. Уфа: БФАН СССР, 1969. № 2. С. 128–137.
15. Дорофеев Е.П., Лукин В.С. Природный карстово-спелеологический музей в степной Башкирии // Пещеры. 1970. Вып. 8–9. С. 66–71.
16. Смирнов А.И. Открытый сульфатный карст Южного Предуралья // Геологический сборник. 2014. № 11. С. 243–248.
17. Абдрахманов Р.Ф., Дурнаева В.Н., Смирнов А.И. Использование геоинформационных технологий в природообустройстве карстоопасных районов Южного Предуралья // Природообустройство. 2018. № 1. С. 64–68. <https://doi.org/10.26897/1997-6011/2018-1-64-68>

### Sulfate Karst Landforms in the Southern Cis-Urals

A. I. Smirnov<sup>a, #</sup>, P. F. Abdrakhmanov<sup>a</sup>, and V. N. Durnaeva<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Institute of Geology UFRS RAS, Ufa, Russia*

<sup>#</sup>*E-mail: hydro@ufaras.ru*

Sulphate karst in the southern Urals develops within the gypsum Kungur layer of the lower Permian. Surface karst manifestations presented funnels, wells, depressions, and karst erosion and karst logs and ravines, karst springs and lakes. Sulphate karst is the most dangerous type of karst for the territory under consideration. Affected areas of the southern Urals surface karst manifestations is directly dependent on the neotectonic stage in the formation of relief. The active stages of their formation alternate with adaptation periods, and the activity of development decreases from the Pliocene to the Holocene, following a decrease in the draining capacity of the karst gypsum stratum. As a result of the assessment of the intensity of the distribution of karst landforms in areas with homogeneous geological and hydrogeological, geomorphological conditions and types of karst, through the total ratio of their area (%) and quantity (PCs. on 1 km<sup>2</sup>) to the area of the site it was established that the abundance of surface karst phenomena naturally decreases with increasing thickness of cover deposits, increases from weakly permeable cover sediments to overlying rocks, the water permeability of which is due to their porosity, increases from areas with difficult water exchange trenno-karst waters to the participants, where the situation of their intensive water exchange is formed and from young relief surfaces to more ancient ones. The karst danger of both separate parts of the Republic of Bashkortostan and adjacent territories will be assessed by the GIS project “Karst of the southern Urals and the Urals” on the scale of 1:500000.

*Keywords:* types of karst, Pliocene-Quaternary, the paleo valleys of the rivers, surface karst manifestations, the prevalence

#### ACKNOWLEDGMENT

The work was carried out within the framework of the state budget theme No. 0246-2019-0086.

#### REFERENCES

1. Rodionov N.V. *Inzhenerno-geologicheskie issledovaniya v karstovykh raionakh pri ustroistve malykh vodokhranilishch, grazhdanskom i promyshlennom stroitel'stve* (Engineering and geological studies in karst areas in the organization of small reservoirs, civil and industrial construction). Moscow: Gosgeoltekhizdat (Publ.), 1958. 183 p. (in Russ.)
2. Maksimovich G.A. *Osnovy karstovedeniya* (Basics of karst studies). Vol. I. Perm: Kniznoe izdatelstvo (Publ.), 1963. 444 p.
3. Gvozdeckij N.A. *Problemy izucheniya karsta i praktika* (Problems and practice of studying karst). Moscow: Mysl' (Publ.), 1972. 392 p.
4. Sokolov D.S. *Osnovnye usloviya razvitiya karsta* (Basic conditions of karst development). Moscow: Gosgeoltekhizdat (Publ.), 1962. 322 p.
5. Abdrahmanov R.F., Martin V.I., Popov V.G., Rozhdestvenskij A.P., Smirnov A.I., and Travkin A.I. *Karst Bashkortostana* (Karst of Bashkortostan). Ufa: Informreklama (Publ.), 2002. 383 p.
6. Smirnov A.I. *Karta sul'fatnogo karsta Yuzhnogo Predural'ya (soderzhanie, printsipy i metodika postroeniya)* (The sulphate karst map of the Southern Fore-Ural region (content, principles and mapping methodology). *Inzhenernaya geologiya*. 2018. Vol. XIII. No. 1–2. P. 86–94. (in Russ.)
7. Sheko A.I., Lehatinov A.M., and Maksimov M.M. *Kolichestvennaya otsenka intensivnosti proyavleniya ekzogennykh geologicheskikh protsessov pri inzh.-geol. s'emke* (Quantitative assessment of the intensity of exogenous geological processes in engineering-geological survey). *Tr. VSEGINGEO*. vol. 3. Moscow. 1971. P. 89–95. (in Russ.)
8. Smirnov A.I. *Karst* (Karst). Atlas Respubliki Bashkortostan. Ufa: Kitap (Publ.), 2005. P. 60. (in Russ.)
9. Abdrahmanov R.F. and Popov V.G. *Svyaz' karstovykh protsessov i proyavlenii s neogenovymi dolinami sistemy Paleo-Beloi v Yuzhnom Predural'e* (Connection of karst processes with the Neogene Paleo-Belaya valley network, Southern Cis-Urals region). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2017. No. 3. P. 48–59. (in Russ.)
10. Rozhdestvenskij A.P. *Noveishaya tektonika i razvitie rel'efa Yuzhnogo Priural'ya* (Recent tectonics and development of the relief of the southern Pre-Urals). Moscow: Nauka (Publ.), 1971. 286 p.
11. *Pliocen i pleistocen Volgo-Ural'skoi oblasti* (Pliocene and Pleistocene of the Volga-Ural region). M.A. Kamaletdinova and V.L. Jahimovich. Ed. Moscow: Nauka (Publ.), 1981. 162 p.
12. Sidnev V.A. *Istoriya razvitiya gidrograficheskoi seti plio-tsena v Predural'e* (History of the development of the Pliocene hydrographic network in the Pre-Urals). Moscow: Nauka (Publ.), 1985. 221 p.
13. Smirnov A.I. *Geneticheskie tipy i formy rel'efa* (Genetic types of relief and landforms) // Atlas Respubliki Bashkortostan. Ufa: Kitap (Publ.), 2005. P. 65.
14. Vahrushov G.V. *Neotektonika i sovremennye karstovye provaly v Zapadnoi Bashkirii* (Neotectonics and modern karst holes in Western Bashkiria). *Materialy po geomorfologii i noveishei tektonike Urala i Povolzh'ya*. Ufa: BFAN SSSR, 1969. No. 2. P. 128–137. (in Russ.)
15. Dorofeev E.P. and Lukin V.S. *Prirodnyi karstovo-speleologicheskii muzei v stepnoi Bashkirii* (Environmental Museum of karst and speleology in the steppe Bashkiria). *Peshhery*. 1970. Vol. 8–9. P. 66–71. (in Russ.)
16. Smirnov A.I. *Otkrytyi sul'fatnyi karst Yuzhnogo Predural'ya* (Open sulphate karst of the southern Cis-Urals). *Geologicheskii sbornik*. 2014. No. 11. P. 243–248. (in Russ.)
17. Abdrahmanov R.F., Durnaeva V.N., and Smirnov A.I. *Ispol'zovanie geoinformatsionnykh tekhnologii v prirodooobustroistve karstooopasnykh raionov Yuzhnogo Predural'ya* (Use of geoinformation technologies in environmental engineering of karst dangerous areas of the southern Cis-Urals). *Prirodooobustroistvo*. 2018. No. 1. P. 64–68. (in Russ.)