

УДК 551.44+551.735(470.5)

ПАЛЕОКАРСТ НА ВОСТОЧНОМ СКЛОНЕ СРЕДНЕГО УРАЛА И ГРАНИЦА НИЖНЕГО/СРЕДНЕГО КАРБОНА

© 2016 г. Г. А. Мизенс, Л. В. Бадида, Т. И. Степанова, Н. А. Кучева

*Институт геологии и геохимии УрО РАН
620016, г. Екатеринбург, ул. Акад. Вонсовского, 15
E-mails mizens@igg.uran.ru, kokshina@igg.uran.ru,
stepanova@igg.uran.ru, kucheva@igg.uran.ru*

Поступила в редакцию 01.12.2015 г.

Принята к печати 26.02.2016 г.

Рассматриваются проявления палеокарста на востоке Среднего Урала, приуроченного к известнякам нижнего карбона, и анализируется характер границы между нижним и средним карбоном. Доказывается, что продолжительного перерыва в конце раннего карбона на Среднем Урале не было. Поднятия были локальными и быстро разрушались. Карст, скорее всего, имеет мезозойский возраст. Два типа его проявлений (с полостями, заполненными обвальными брекчиями, сцементированными мелкокристаллическим кальцитом, и полостями, заполненными гигантокристаллическим кальцитом), вероятно, связаны с особенностями подземной воды, заполнившей карстовые полости после их образования.

Ключевые слова: *палеокарст, карбон, мезозой, граница между нижним и средним карбоном, перерыв, поднятия, кора выветривания, обвальные брекчии, гигантокристаллический кальцит.*

ВВЕДЕНИЕ

Проявления современного карста в виде карров, воронок, поноров, колодцев, пещер и обвальных брекчий широко развиты в районах, где вблизи поверхности Земли залегают легкорастворимые сульфатные и карбонатные отложения. Следы достоверного погребенного карста встречаются реже, и обнаружить их сложнее. Обычно это брекчии обрушения и сложные тела глинистой или мелкообломочной породы, сохранившиеся в толщах известняков (нерастворимый остаток, а также занесенный водотоками в бывшие карстовые полости обломочный и глинистый материал). Такие образования известны в том числе на прилегающих к Уралу территориях и на самом Урале, например в карбоне Печорского Урала [8, 14, 25], нижней перми Западного склона Южного Урала [15], нижнем карбоне Боровской зоны Курганского Зауралья [20], а также на Русской платформе [1, 13, 30 и др.], в Казахстане [7], на Сибирской платформе [6]. Еще более широко они описаны зарубежными исследователями [29, 31, 33, 34 и др.].

В восточных зонах Урала также известны проявления палеокарста. Однако при этом речь идет главным образом о мезозойской эре [4, 24], когда, по-видимому, существовали наиболее благоприятные условия его формирования. В то же время имеются данные и о процессах карстообразования, приуроченных к рубежу раннего и среднего карбона [23]. При этом закарстованными в том и другом

случаях оказываются нижнекаменноугольные известняки (рис. 1, 2), которые на рассматриваемой территории распространены наиболее широко.

ПОГРАНИЧНЫЕ НИЖНЕ-, СРЕДНЕКАМЕННОУГОЛЬНЫЕ КАРБОНАТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ВОСТОЧНЫХ ЗОН СРЕДНЕГО УРАЛА

На востоке Урала нижнекаменноугольные известняки широко распространены, в том числе на широте Среднего Урала, причем главным образом они относятся к верхней части нижнего карбона, верхнему визе и серпуховскому ярусу. Карбонатные образования турне и нижнего визе известны только в пределах Режевской карбонатной платформы Сосьвинско-Теченской структурной зоны, по берегам рек Реж и Бобровка [17, 21, 22, 26] (см. рис. 2).

Верхневизейский подъярус и серпуховский ярус сложены известняками *исетской* свиты, распространенными во всех структурных зонах восточного склона Среднего Урала и характеризующимися значительными проявлениями древнего карста. По берегам рек Пышма и Кунара, Исеть и Каменка у г. Каменск-Уральский (Махневско-Брединская зона) в основании разреза этой свиты залегают известняки с прослоями красноватых терригенных пород и пестроцветных брекчий [3, 17]. На левом берегу р. Исеть (разрез “Брод-Ключики”) нижняя, визейская, часть свиты сложена

на кораллово-брахиоподовыми известняками. Верхи разреза представлены карбонатными породами верхнесерпуховского подъяруса, среди которых распространены известняковые брекчии с обломками, содержащими как серпуховские ассоциации микрофауны, так и поздневизейские. На р. Исеть разрез наращивается слоистыми афанитовыми известняками с пластовыми строматолитами, многочисленными онколитами и массовыми скоплениями на поверхностях напластования мелких гониатитов, датирующих верхний (чернышевский) горизонт яруса. Севернее, на р. Нейва, известняки с позднесерпуховским комплексом микрофауны вскрыты скважинами Путиловского профиля [12]. Общая мощность исетской свиты в пределах Махневско-Брединской зоны 800–1000 м.

Западнее, на территории Сосьвинско-Теченской структурной зоны, исетская свита представлена преимущественно мшанково-криноидными известняками верхнего визе и серпуховского яруса, обнажающимися по берегам рек Исеть, Камышенка, Реж, Нейва, Тура и в других местах. Суммарная, но, вероятно, далеко не полная мощность свиты здесь составляет около 500 м. Еще дальше к западу, в Покровском районе, скважинами вскрыт разрез верхнего визе и, по-видимому, сунтурского горизонта серпуховского яруса. Мшанково-криноидные известняки нижней части серпуховского яруса, обнажаются в разрезе “Мантуров Камень” (р. Реж), а верхняя часть этого яруса также в районе сел Липино и Луговое. Наряду с таксонами, определяющими позднесерпуховский возраст, здесь отмечаются раковины фораминифер, характерные для верхнего визе, со следами механической переработки и перетолжения. Видимая мощность 125 м.

На юге Среднего Урала, по долинам рек Синара и Багаряк (Багарякско-Аргаяшский район), отложения исетской свиты встречаются в разобщенных береговых обнажениях и в нескольких карьерах. Нижняя часть разреза здесь сложена перекристаллизованными и доломитизированными известняками, а верхи (на левом берегу р. Синара) – слоистыми доломитизированными известняками с фауной верхов серпуховского яруса. Видимая мощность 550 м.

Нижние горизонты **башкирского яруса** на рассматриваемой территории отличаются большим разнообразием пород, чем в верхах нижнего карбона. Причем почти во всех разрезах наблюдаются признаки перерыва на рубеже серпуховского и башкирского веков, который фиксируется также в мелководных разрезах западного склона Урала (от г. Губаха на севере до р. Аскын на юге) [2, 10]. В то же время в расположенных южнее более глубоководных разрезах, таких как Богдановка и Мурадымово, следы перерыва отсутствуют [10]. Признаков перерыва нет и на восточном склоне Южного Урала (реки Бол. Кизил, Худолаз).

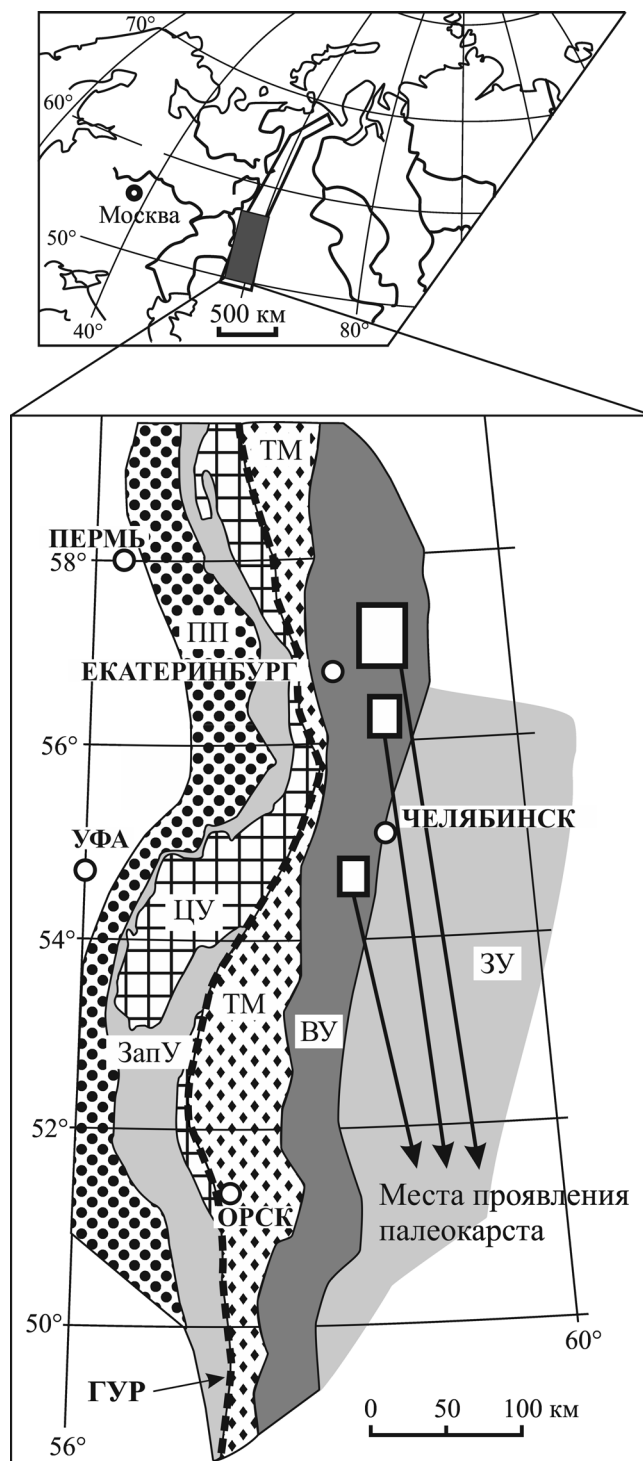


Рис. 1. Местоположение основных проявлений древнего карста на востоке Урала.

Fig. 1. Location of the ancient karsts main occurrences in the eastern Urals.

В Сосьвинско-Теченской зоне к башкирскому ярусу относятся глубоководные отложения *малобелоносовской* и *алапахинской* свит. Первая наиболее полно обнажается на р. Исеть около

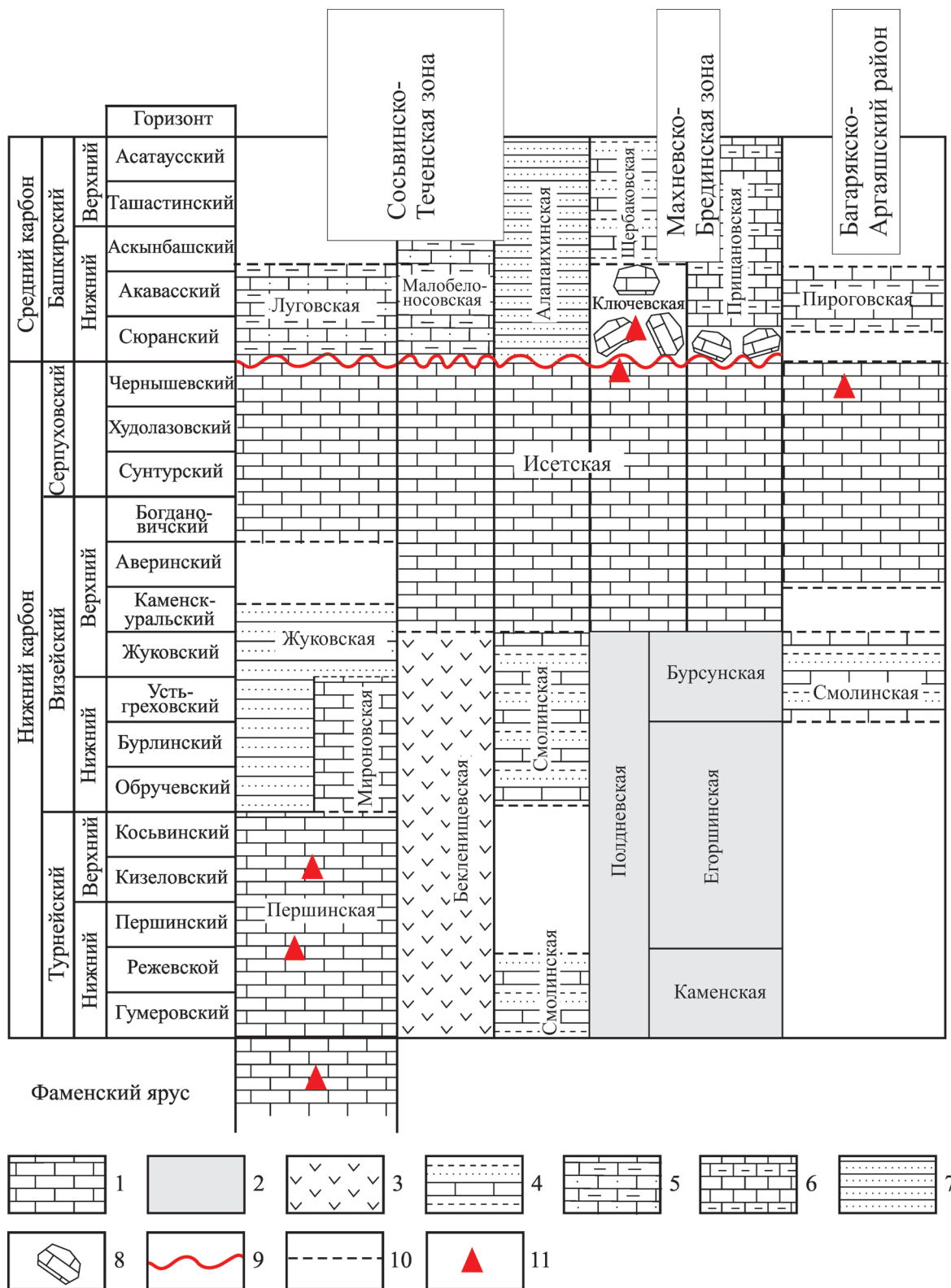


Рис. 2. Типы разрезов нижнекаменноугольных и башкирских отложений восточного склона Среднего Урала (по [17] с изменениями):

1 – известняки; 2 – угленосная серия (аргиллиты, угли, песчаники, конгломераты); 3 – вулканиты; 4 – аргиллиты, песчаники, известняки; 5 – известняки, известняковые песчаники, аргиллиты, конгломераты; 6 – известняки с прослоями песчаников и глинистых пород; 7 – аргиллиты, песчаники, конгломераты; 8 – известняковые брекчии; 9 – стратиграфический перерыв; 10 – тектонические границы; 11 – проявления древнего карста. Названия свит и толщ внутри колонок.

Fig. 2. Lower Carboniferous and Bashkirian section types on the eastern slope of the Middle Urals (by [17] with additions):

1 – limestones; 2 – coal-bearing sequence (mudrocks, coals, sandstones, conglomerates); 3 – vulcanites; 4 – mudrocks, sandstones, limestones; 5 – limestones, calcarenites, mudrocks, conglomerates; 7 – limestones with sandy and muddy interlayers; 8 – limestone breccias; 9 – stratigraphic hiatus; 10 – tectonic boundaries; 11 – ancient karst occurrences. Strata and formation names are placed in columns.

с. Бекленишево, где на серпуховских известняках залегают переслаивающиеся аргиллиты, алевролиты и известняковые песчаники с прослоями известняков, нередко битуминозных, содержащих фораминиферы акавасского и аскынбашского горизонтов (сюранские формы отсутствуют). В верхней части свиты отмечаются маломощные прослои валунно-галечных конгломератов, среди обломков которых преобладают известняки с микрофауной и брахиоподами верхней части серпуховского яруса. Мощность свиты достигает 340 м.

Песчано-глинистые турбидиты алапаихинской свиты мощностью 400–500 м с линзами галечных дебритов и отдельными глыбами известняков [19], залегают на доломитизированных известняках исетской свиты по берегам р. Нейва выше г. Алапаевск. В среднем и верхнем горизонтах этой свиты вместе с переотложенными раннебашкирскими и визейско-серпуховскими формами присутствуют редкие позднебашкирские фузулиниды, а в нижней части, по Б.И. Чувашова с соавторами [28], встречаются только раннебашкирские таксоны. Крупные глыбы известняков, приуроченные главным образом к горизонтам конгломератов, имеют раннебашкирский возраст, а среди галек в конгломератах нередко встречаются породы поздневизейского и серпуховского возраста. Таким образом, достаточно уверенно можно предположить, что верхняя часть подстилающей толщи была размыта. Размеры обломочного материала и признаки глубокого врезания позволяют говорить о том, что, по крайней мере, один борт бассейна, где формировались упомянутые конгломераты, был поднят высоко. Наличие глыб известняков раннебашкирского возраста свидетельствует, что в начале башкирского века на данной территории еще существовала шельфовая обстановка. Глубоководный бассейн здесь образовался несколько позже.

На западе Сосьвинско-Теченской зоны на органогенно-обломочных известняках нижнего карбона со скрытым перерывом залегает толща известняковых песчаников, гравелитов и конгломератов с прослоями микрозернистых битуминозных известняков, относящихся к *луговской* свите (200–220 м). Грубозернистые песчаники основания ее разреза содержат конодонты сюранского горизонта. Во всех разновидностях пород присутствуют брахиоподы, характерные для нижнебашкирского подъяруса [19], и смешанная ранне-среднекаменноугольная ассоциация фораминифер

как непосредственно в матриксе в виде обломанных, раздробленных и микритизированных раковин, так и в составе обломков разнообразных известняков.

В пределах Махневско-Брединской зоны Среднего Урала на уровне башкирского яруса выделяются терригенно-карбонатная *прищановская* и карбонатная *ключевская* свиты. Первая (220–320 м) наиболее характерна для бассейна р. Кунара [17]. Нижняя часть ее, с известняковыми конгломератами и конгломератами в основании, в настоящее время вскрыта в том числе на правом берегу реки выше д. Кашина, где прослеживается внешне согласное залегание известняковых конгломератов на пелитоморфных брекчиевидных известняках верхней части серпуховского яруса. Однако в гальках наряду с микрофауной сюранского горизонта содержатся раннекаменноугольные (поздне-визейские и серпуховские) формы [9], что позволяет предположить существование перерыва. Выше развиты слоистые известняки с подчиненными прослоями аргиллитов и песчаников.

Сходный тип разреза прослеживается и севернее, в скважинах Путиловского и Строкинского профилей (бассейн р. Нейва) [11]. В некоторых из этих скважин (например, “Ельничной”) было установлено, что нижнебашкирские известняки с перерывом ложатся на нижнесерпуховские.

Ключевская свита (до 230 м) вскрыта в двух карьерах “Уралнеруд” у г. Каменск-Уральский [17]. Нижняя ее часть сложена массивными несортированными известняковыми брекчиями и конгломератами, состоящими из обломков подстилающих серпуховских отложений, в том числе со строматолитами. В цементе брекчий определены фораминиферы сюранского возраста, а также переотложенные поздневизейско-серпуховские формы. В верхней части свиты преобладают доломитизированные известняки и доломиты, участками с биогермными структурами.

В южной части Среднего Урала известен только один небольшой разрез (на р. Багаряк у д. Жуково), где обнажаются нижние горизонты башкирского яруса [28]. Здесь на массивных известняках с серпуховскими фораминиферами залегает несортированная известняковая брекчия мощностью до 40 м, среди обломков которой присутствуют строматолитовые известняки. Вверх по разрезу брекчия замещается слоистыми породами.

ПРОЯВЛЕНИЯ ПАЛЕОКАРСТА

Следы палеокарста на востоке Среднего Урала, как уже упомянуто, приурочены главным образом к известнякам серпуховского яруса нижнего карбона. Они встречаются в долинах рек Пышма, Кунара, Исеть, Каменка, Нейва. Менее известен палеокарст на р. Синара, а также его проявления среди известняков других стратиграфических интервалов.

Река Кунара. Древний карст в бассейне р. Кунара, правого притока р. Пышма, описан еще в середине прошлого столетия [23]. Представительный разрез затронутых процессами карстообразования серпуховских известняков прослеживается по левому берегу реки ниже д. Кашина. Следы карста приурочены к верхней части разреза, видимая мощность которого составляет около 200 м. Чаще всего это разные брекчии (от мелко- до крупнообломочных) с красноватым ожеженным матриксом, представленным микрозернистыми известняками или известняковыми песчаниками (рис. 3а, б, в), иногда с небольшой (до 1–2%) примесью силикатных зерен. Форма тел этих брекчий разнообразная, обычно неправильная, видимые размеры от десятков сантиметров до многих метров. Встречаются трещины, заполненные обломками известняков (рис. 3г). В составе брекчий обломочный материал имеет размеры от песчаных зерен до глыб в 1–2 м. Иногда можно встретить тела с хорошей сортировкой обломков и даже со следами округления последних, но чаще сортировка плохая и обломки угловатые. Сгруженность тоже различная (см. рис. 3).

Наряду с брекчиями в известняках встречаются линзы ленточно-слоистых отложений (ламинитов), видимой протяженностью от 10 см до 2 м и толщиной до 10–20 см (см. рис. 3д), свидетельствующих о существовании небольших водоемов в былых карстовых пещерах. Характерно, что ламиниты в линзах нередко наклонены в разные стороны и даже смяты в складки, что, вероятно, вызвано обвалами пустот в подстилающей толще.

Для матрикса брекчий характерно низкое содержание железа (всего 5–10 тыс. г/т, несмотря на красноватый цвет) и большинства малых элементов. Так, количество Li, Be, B, Sc, Ti, V, Mn, Cu, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Ba, Hf, Th, U обычно составляет 0.1–0.5 от кларкового содержания в карбонатных породах, а Cr, Zn, Nb – на уровне кларка (0.7–1.5). Лишь Co, Ni, Mo, W характеризуются высокими содержаниями – до 3–7 раз выше кларкового, что может быть связано с наличием сульфидов, главным образом пирита [32]. Сумма РЗЭ от 6 до 10 г/т. Сходные характеристики присущи и вмещающим карбонатам, следовательно, посторонние примеси в основном здесь отсутствуют. Только в одном образце, где наблюдается небольшая доля силикатно-

го материала, малых элементов несколько больше (за исключением Co, Ni, W).

Слои известняков в рассматриваемом разрезе падают на ВСВ под углом 70°. При этом признаки закарстованности наблюдаются только в его восточной части и затрагивают не более 70–80 м мощности. Таким образом, если известняки во время проявления карста лежали горизонтально, то соответствующий процесс проникал на глубину не менее 70–80 м, но если их залегание было близко к современному, то гораздо меньше.

Обращает на себя внимание, что на данной территории на неровной, размытой поверхности нижекарбонатноугольных известняков сформировалась мощная (3–4 м и более) гематитизированная кора выветривания, которая в XIX и начале XX столетия даже использовалась в качестве железной руды [23]. Чаще всего это скопления скорлуповатых стяжений или охристо-глинистых и сплошных плотных масс бурых железняков. Встречаются натечные формы – смоляно-черные почковидные и сталактитовидные образования, известные по А.А. Пронину, как “бурая стеклянная голова”. В минералогическом отношении упомянутые образования состоят из гетита, гидрогетита, сидерита. В рудах содержится от 30 до 65% железа, от 5 до 35% SiO₂. На левом и правом берегах р. Кунара и южнее, в междуречье Исети и Каменки, в середине XX в., по данным А.А. Пронина, еще были видны остатки карьеров и закопушек, где руда добывалась. В настоящее время остатки воронок, выполненных гидроокислами железа, можно видеть на правом берегу р. Кунара ниже д. Поповка и в борту старого известнякового карьера ниже с. Прищаново.

Карстовые брекчии, похожие на описанные, и остатки кор выветривания встречаются и в других районах Среднего Урала, в том числе по долинам рек Пышма и Нейва. Среди верхнедевонских (франских и фаменских) известняков на р. Реж у с. Першино видны рассеянные небольшие (до нескольких десятков сантиметров) неправильные гнезда несортированных брекчий с базальным и поровым матриксом в виде ожеженной глинисто-карбонатной массы. Лишь в одном случае, в известняках нижнего фамена, имеется относительно изометричное тело брекчии диаметром более 2 м с крупными (десятки сантиметров) глыбами известняков.

Река Синара. Другой тип проявления палеокарста в визейско-серпуховских известняках развит на левобережье р. Синара, правого притока р. Исеть [16]. Здесь, в карьере у пос. Новый Быт, на протяжении более 100 м наряду с воронками современного карста вскрыты многочисленные фрагменты разветвленной палеополости или полостей. Его отличительной особенностью является гигантокристаллический кальцит, заполняющий большинство пустот и цементирующий известняковые брекчии

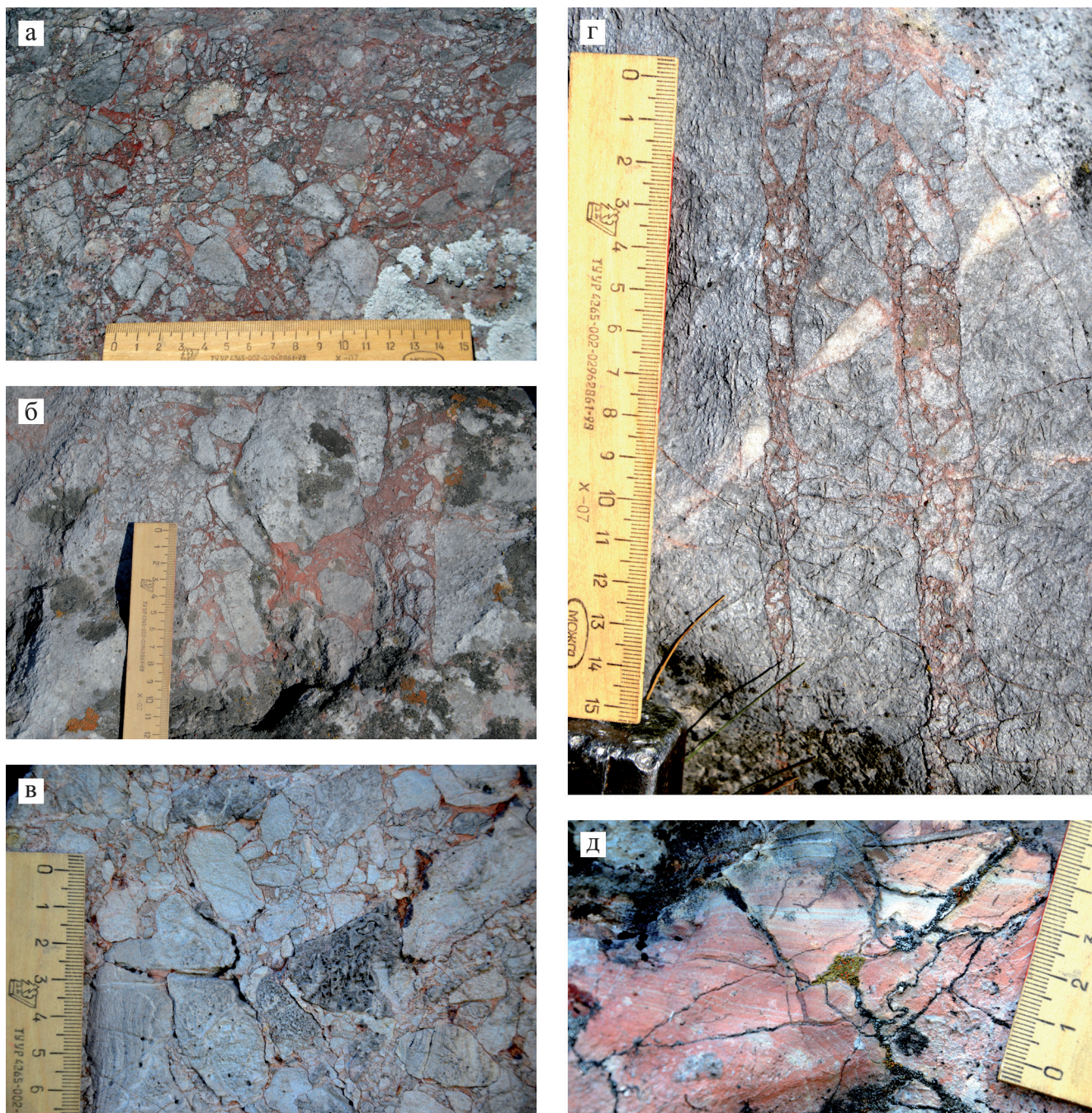


Рис. 3. Обвальные брекчии в серпуховских известняках в долине р. Кунара

а, б, в – брекчии, выполняющие полости палеокарста; г – брекчии в трещинах; д – линза ламинитов в одной из бывших полостей.

Fig. 3. Ancient caverns (sinkholes) filled with founder breccias in the Kunara river valley.

а, б, в – founder breccias filled the sinkholes; г – breccias in the cracks; д – lense of laminites in the overwhelmed cave.

(рис. 4, 5). Кристаллы кальцита большей частью изометричные, размером нередко до 20–25 см (см. рис. 4а, 5б). Вдоль стенок полостей и в узких щелях встречаются шестоватые разности (см. рис. 4в), в углублениях иногда – розетки (см. рис. 5а).

Кристаллизация, вероятно, происходила с перерывами, что подтверждает зональность, параллельная стенкам полости, подчеркнутая окраской, глинистыми пленками и изменениями в размерах кристаллов (см. рис. 4б). Остановки в кристаллизации

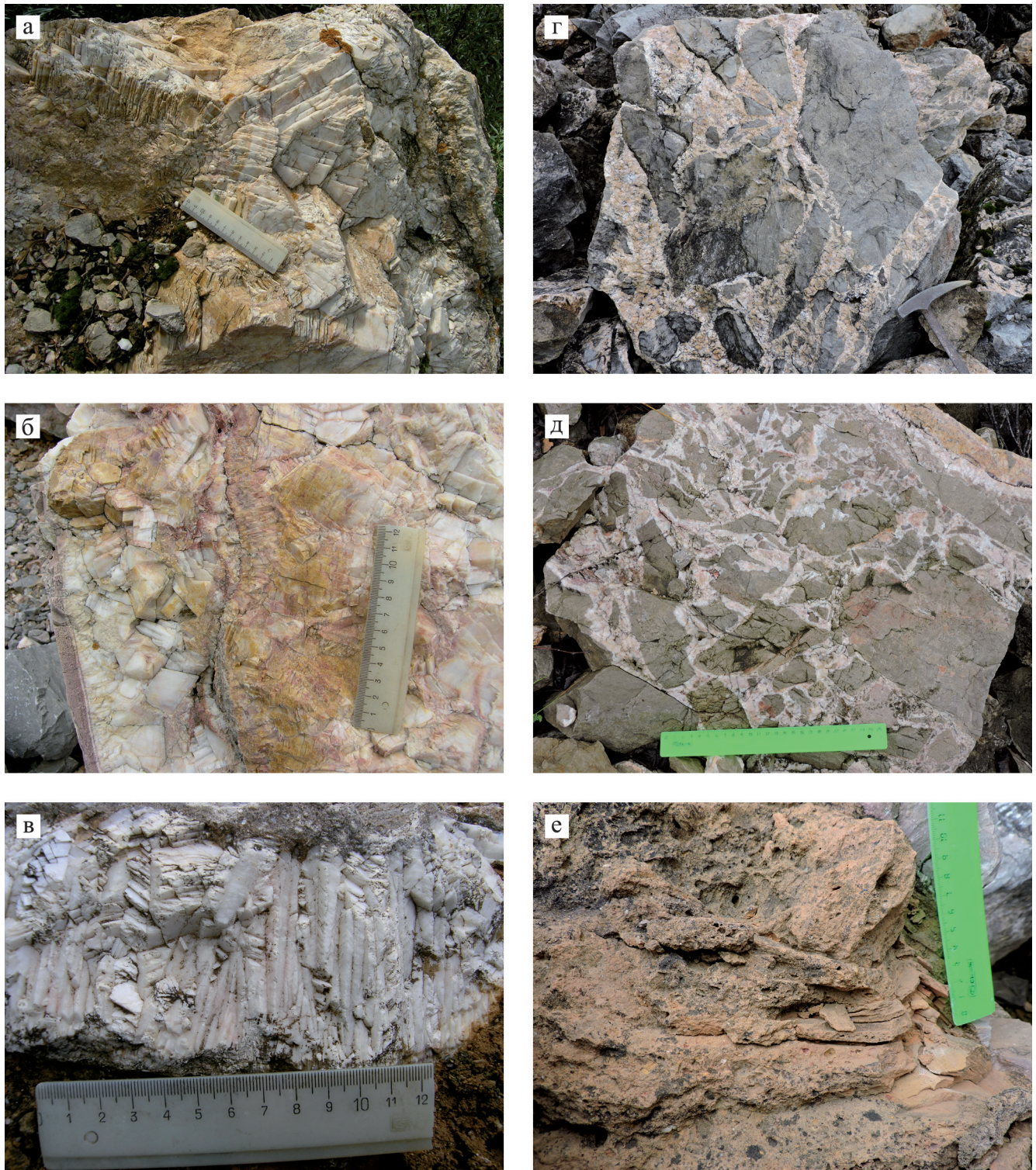


Рис. 4. Проявления палеокарста в серпуховских известняках на левобережье р. Синара.

а, б, в – гигантокристаллический кальцит, выполняющий полости и пустоты, длина линейки 12,5 см; г, д – карстовые брекчии, сложенные угловатыми обломками разного размера; е – нерастворившееся вещество (terra rossa) в карстовой полости.

Fig. 4. Caverns and sinkholes in the Serpukhovian limestones. Left bank of the Sinara river.

а, б, в – very coarse-crystalline calcite, line is 12.5 cm; г, д – founder breccias, composed by angular clasts of different size; е – insoluble material (terra rossa) in the cavern.

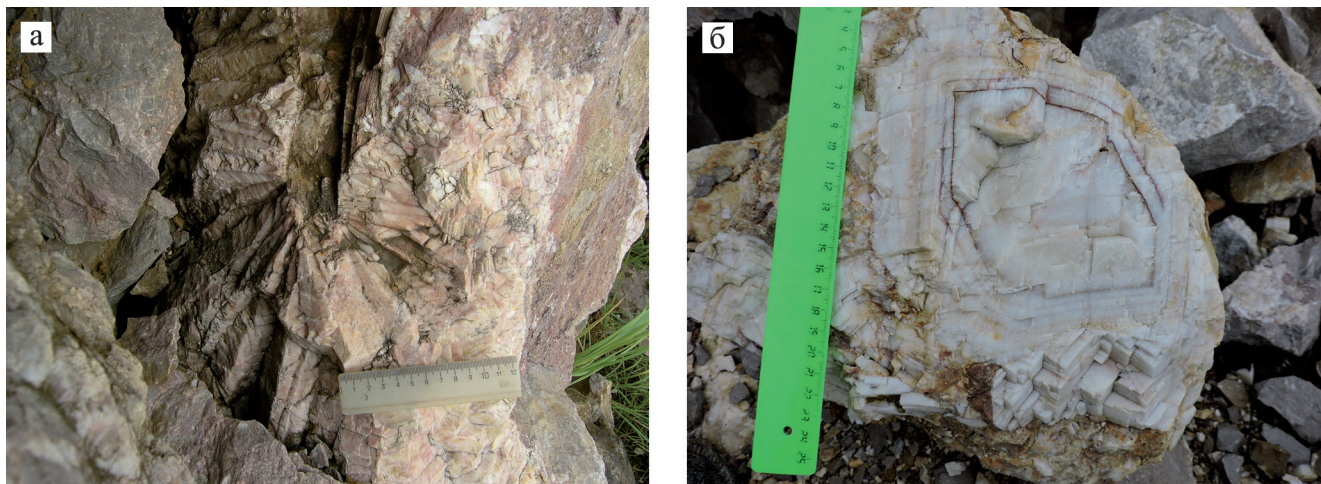


Рис. 5. Некоторые особенности строения кристаллического кальцита в карстовых пустотах.

а – розетка из шестоватых кристаллов в углублении стенки полости; б – зональное строение кристалла кальцита, размер около 25 см.

Fig. 5. Some features of the cavern crystalline calcite.

a – columnar crystals rosette in the cavity wall recess; б – girdle fabric of the calcite crystal, which size is 25 cm.

проявились в образовании тонких пленок красноватого глинистого вещества на зубчатой поверхности крупных кристаллов. Новый этап кристаллизации начался со слоя относительно мелких, часто шестоватых, кристаллов (своего рода крустификационной каемки), которые далее сменяются крупными желтоватыми и красноватыми (геометрический отбор во время роста), потом белыми. Сами кристаллы тоже нередко зональные (см. рис. 5б), что, очевидно, свидетельствует об изменчивости условий кристаллизации, колебаниях количества примесей в растворе.

Карстовые (обвалыные) брекчии во вскрытой части разреза распространены достаточно широко. Обычно это небольшие (до 1–2 м, редко до 5–7 м) гнезда и ходы, сложенные остроугольными обломками известняков размером до нескольких десятков сантиметров по длинной оси (см. рис. 4г, д). Иногда пространство между крупными обломками заполнено многочисленными мелкими частицами известняка, представляющими собой матрикс. Цемент, как правило, базальный, сложенный крупно- и гигантокристаллическим кальцитом.

Иногда в нижней части бывшей полости можно наблюдать отложения вещества, оставшегося после растворения известняков (своего рода *terra rosa*), представленного желтоватым несортированным глинистым песчанником, плотно сцементированным, с угловатыми обломками известняков (см. рис. 4е) и местами с рассеянными зернами силикатов. Встречаются также тонкослоистые песчано-глинистые отложения, осажженные в неподвижной воде (подземном водоеме), так как пакеты слоев

облекают неровности дна. Нередко можно видеть стяжения гидроокислов и окислов железа (скорлуповатых, колломорфных), выполняющие пустоты размером до десятков сантиметров (рис. 6а, б).

Река Реж. Карстовые полости, заполненные гигантокристаллическим кальцитом, встречаются и в других местах восточного склона Урала. Так, среди турнейских известняков на р. Реж, напротив с. Першино видно продолговатое тело длиной 6 м и шириной 0.6–1.0 м, сложенное белым кристаллическим кальцитом, вблизи которого встречаются также несколько небольших (0.3–0.4 м) гнезд, выполненных таким же кальцитом, вероятно, представляющих собой ответвления. Основное тело длинной осью ориентировано под углом к напластованию известняков (рис. 7а). Его нижняя граница относительно ровная, с крупным пологим изгибом и мелкими карманами. Верхняя – характеризуется многочисленными выступами (апофизами) длиной до 0.5 м, большая часть из которых ориентирована параллельно напластованию, некоторые – под прямым углом к нему. Кристаллизация кальцита началась со стенок полости, к которым приурочены относительно мелкие кристаллы в виде крустификационных каемок (рис. 7б). По направлению к центру размеры кристаллов постепенно увеличиваются, достигая местами 10 см.

Остатки полости, выполненной гигантокристаллическим кальцитом, можно видеть и в долине речки Увелька на Южном Урале, на ее левом берегу выше пос. Подгорный в толще известняков башкирского яруса. Размеры полупрозрачных кристаллов здесь также достигают 10–12 см.

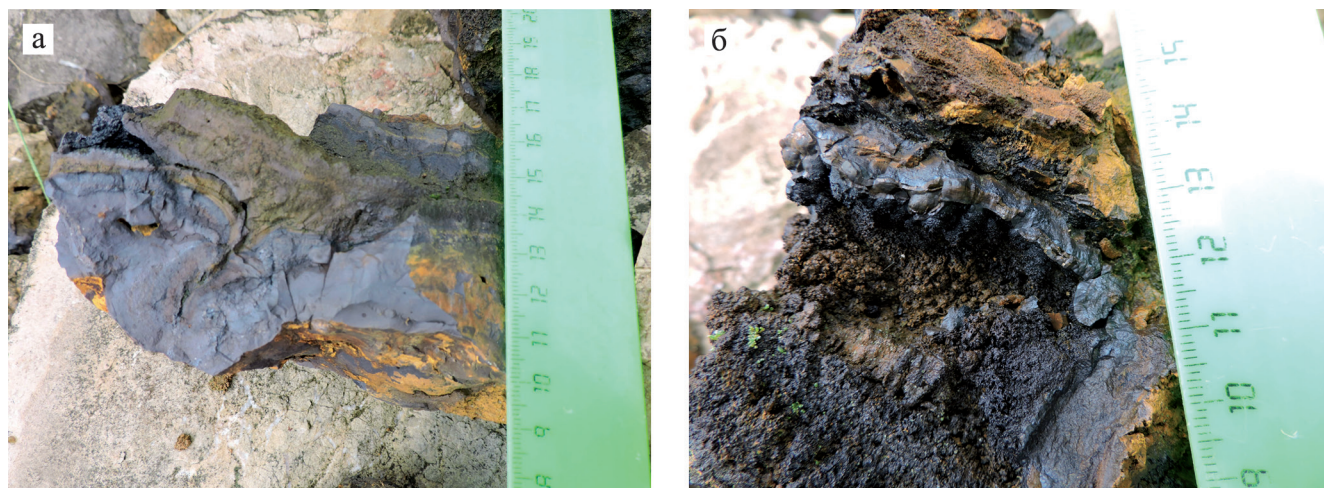


Рис. 6. Окислы и гидроокислы железа в небольших карстовых пустотах.

Fig. 6. Ferrum oxides and hydroxides in the small caverns.

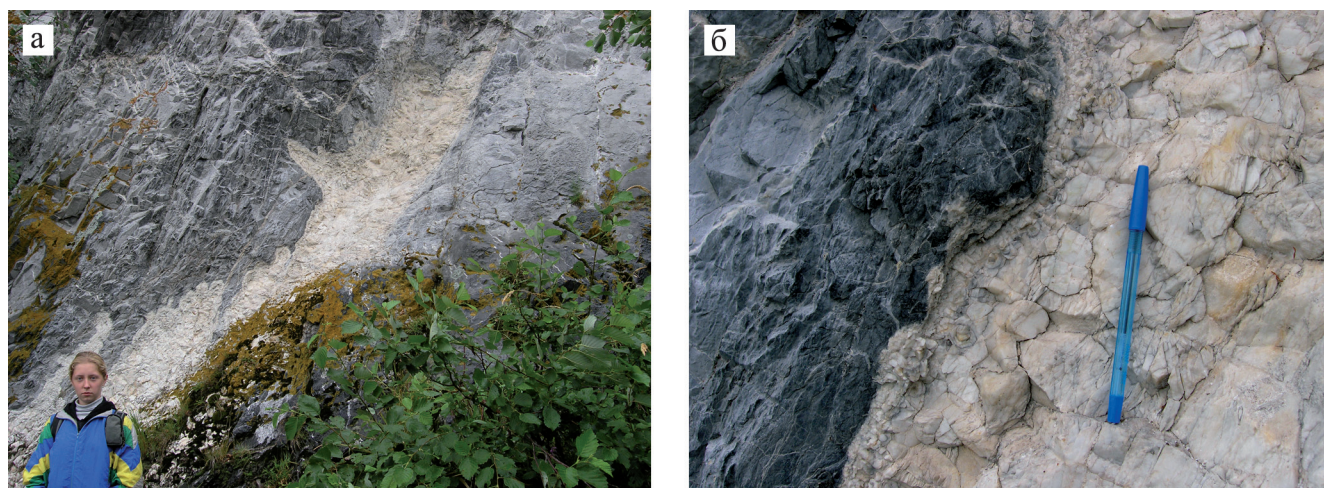


Рис. 7. Карстовая полость в известняках турнейского яруса на правом берегу р. Реж у с. Першино, выполненная гигантокристаллическим кальцитом:

а – общий вид, б – строение периферийной части кристаллического массива.

Fig. 7. Tournaisian limestones cavern filled with very coarse-crystalline calcite. Right bank of the Rezh river near the Pershino village:

а – general view, б – peripheral part fabric of the crystalline mass.

В разрезе турнейских известняков на р. Реж имеется еще одна разновидность бывшей карстовой полости (шириной от 50 до 90 см, видимой длиной около 4 м). Она выполнена тонко- и микрослоистыми слюдистыми алевролитами [16]. Кровля этого тела располагается параллельно напластованию вмещающих пород, подошва – под небольшим углом. Горизонтальная и пологая косоволнистая слоистость в алевролитах подчеркивается глинистыми пленками. Окраска породы в выветрелом состоянии рыжеватая, в свежем – темно-серая до чер-

ной. В алевролитах рассеяно большое количество мелких (до 10–15 мм) обломков известняков, преимущественно со следами окатанности. Более крупные обломки (пластины длиной до 1 м) в основном приурочены к верхней и нижней частям линзы.

ОБСУЖДЕНИЕ

По мнению А.А. Пронина [23], проявления карста в бассейнах рек Пышма, Кунара, Исеть имеют позднепалеозойский возраст. Он полагал, что перед

концом серпуховского века (по современной схеме) на востоке современного Среднего Урала имел место продолжительный перерыв в осадконакоплении, сопровождавшийся складчатостью и формированием мощной гематитизированной коры выветривания. Вывод о складчатости на рубеже раннего и среднего карбона А.А. Прониным был сделан на основании резко несогласного контакта серпуховских известняков и перекрывающих углисто-глинистых сланцев, которые в середине XX в. были видны в карстовых углублениях, вскрытых карьерами и закопками на правом берегу р. Кунара и южнее, в междуречье Исети и Каменки. Аналогичные взаимоотношения известняков и сланцев были видны также в одном из обнажений на правом берегу реки (к сожалению, в настоящее время не сохранившемся).

По современным данным поднятия на рубеже серпуховского и башкирского веков на Среднем Урале действительно были интенсивными, но локальными и кратковременными. Об этом свидетельствуют мощные пачки известняковых конгломератов и брекчий, содержащих обломки верхневизейских и серпуховских пород (берега рек Кунара, Исеть, Нейва, Реж, Багаряк) и синхронные им образования глубоководного бассейна (алапахинская и малобелоносовская свиты). Причем среди глыб в составе последних встречаются и нижнебашкирские (сюранский горизонт) известняки, показывающие, что в некоторых местах поднятия имели место не только на рубеже серпуховского и башкирского веков, но и несколько позже (в акавасское время). Одновременное формирование поднятий и глубоководных бассейнов в начале башкирского века, скорее всего, было связано с началом сдвиговых процессов на Урале [17, 18].

Таким образом, признаки длительных и устойчивых поднятий, которые бы могли способствовать карстообразованию, на этом рубеже отсутствуют. Не подтверждается и складчатость. В разрезах, где вскрыты пограничные отложения двух упомянутых ярусов, в том числе по берегам р. Кунара, выше д. Кашина, на р. Исеть около деревень Брод и Ключики, на р. Реж, в районе деревень Липино и Луговая, наблюдается согласное и близкое к согласному залегание. Следы карста на р. Кунара видны также среди известняковых конгломератов башкирского яруса. Кроме того, в основании башкирского яруса нигде нет углисто-глинистых сланцев, перекрывающих, по данным А.А. Пронина, серпуховские известняки. Тем не менее такие сланцы характерны для нижнемеловых отложений алапахинской толщи и синарской свиты, развитых на востоке Среднего Урала [27], в том числе на рассматриваемой территории. Причем, как в настоящее время известно, именно в основании этих стратонов на обширной площади распространены бурые железняки, которые разрабатывались в XIX и XX столетиях

не только в междуречье Пышмы и Исети, но и севернее, в районе г. Алапаевск [5]. Следовательно, более вероятным выглядит вариант, что карст здесь имеет мезозойский (домеловой) возраст.

На развитие карста после всеобщей складчатости указывают и его проявления среди турнейских и верхнедевонских известняков. Карстовые брекчии, распространенные в толще серпуховских пород в долине р. Кунара, а также в других разрезах (например, в верхнедевонских известняках на р. Реж) большей частью являются обвальными. Об этом свидетельствует угловатая форма обломков, плохая сортировка и сгруженность. Мелкокристаллический кальцит, цементирующий обломки, по-видимому, кристаллизовался в слабо подвижной воде, впоследствии заполнявшей полости, так как среди обломков известняков встречаются округленные (окатанные?) разности и участки, где эти обломки относительно хорошо сортированы. О течениях говорит и присутствие местами песчаных и алевритовых зерен силикатов, особенно слоистых алевритов в турнейских известняках на р. Реж. В то же время были места (полости), где вода была стоячей. В такой воде осаждались в том числе ламины.

Карстовые пустоты в нижнекаменноугольных известняках на р. Синара, скорее всего, тоже образовались в мезозойское время. Слоистые элементы песчано-глинистых пород, встречающихся в былых пустотах, ориентированы под углом по отношению к напластованию вмещающих известняков, следовательно, они формировались после складчатости. Однако здесь, как и в известняках верхнего турне на р. Реж, и в башкирских известняках на р. Увелька, существует проблема кристаллизации кальцита в пустотах древнего карста и в качестве цемента обвалных брекчий. Возможно, процесс кристаллизации кальцита в отличие от наблюдаемого на р. Кунара и в других участках происходил в неподвижной воде, которая заполняла пустоты и оставалась там на продолжительное время. Обломки брекчий здесь во всех случаях остроугольные (см. рис. 4г, д), часто встречаются ламины, нигде нет следов движения воды. Тем не менее, концентрация раствора не оставалась постоянной, об этом свидетельствует зональность как отдельных кристаллов, так и кристаллических агрегатов, заполняющих пустоты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, карст в нижнекаменноугольных и верхнедевонских известняках на востоке Среднего Урала, наиболее вероятно, формировался в мезозойское время, как и в других районах Урала. Наличие карста каменноугольного возраста не подтверждается. Перерыв на рубеже раннего и среднего карбона на Среднем Урале был кратковремен-

ным и неравномерным. Он был приурочен к глыбовым поднятиям, разделенными глубокоководными бассейнами. Признаки длительных и устойчивых поднятий, которые бы могли способствовать карстообразованию, на этом рубеже отсутствуют. Не подтверждается и складчатость. Различия в степени кристалличности кальцита в полостях палеокарста, скорее всего, связаны с подвижностью и концентрацией водного раствора, заполнявшего пустоты. Неподвижная вода содействовала формированию крупных кристаллов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-05-01958).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев А.С., Косовая О.Л., Горев Н.В. (2013) Состояние и перспективы совершенствования общей шкалы каменноугольной системы России. *Общая стратиграфическая шкала России: состояние и перспективы обустройства. Мат-лы Всерос. конф.* М.: ГИН РАН, 165-177.
2. Алексеев А.С., Реймерс А.Н. (2010) Климат каменноугольного периода и его динамика на Восточно-Европейской платформе и западном склоне Урала. *Геология и нефтегазоносность северных районов Урало-Поволжья. Мат-лы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения проф. П.А. Софроницкого.* Пермь: Изд. Пермского гос. ун-та, 16-18.
3. Гарань И.М., Постоялко М.В. (1975) К стратиграфии нижнего карбона Среднего Урала. *Каменноугольные отложения на Урале.* Свердловск: ИГГ УНЦ АН СССР, 47-67.
4. Гевирц М.И. (1964) Ископаемый палеокарст восточной части Среднего Урала. *Гидрогеология и карстоведение. Вып. 2. Ученые записки ПГУ,* **119**, 93-101.
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист О-41. Екатеринбург. Объяснительная записка. (Г.А. Петров, А.А. Жиганов, В.В. Стефановский, В.В. Шалагинов, Т.А. Петрова, Р.А. Овчинников, Т.А. Гертман). (2011) СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 492 с.
6. Ершова В.Б., Прокопьев А.В., Худoley А.К., Фефилова Л.А. (2012) Отложения палеокарстовых пустот как индикаторы палеогеографических обстановок в каменноугольный период на северо-востоке Сибирской платформы. *Докл. АН,* **442**(4), 511-515.
7. Жаймина В.Я. (2007) Биотические и абиотические события на границе девонской и каменноугольной систем в Казахстане. *Верхний палеозой России: стратиграфия и палеогеография. Мат-лы Всерос. конф.* Казань: КГУ, 107-110.
8. Жемчугова В.А. (1998) Верхний палеозой Печорского нефтегазоносного бассейна (строение, условия образования, нефтегазоносность). Сыктывкар: Геопринт, 160 с.
9. Иванова Р.М., Плюснина А.А. (1990) Разрез серпуховского яруса по рекам Пышма и Кунара на Среднем Урале. *Новые данные по геологии Урала, Западной Сибири и Казахстана.* Свердловск: УрО АН СССР, 108-116.
10. Кулагина Е.И., Пазухин В.Н., Николаева С.В., Кочетова Н.Н. (2000) Зональное расчленение сюржанского горизонта башкирского яруса на Южном Урале по аммоноидеям, конодонтам, фораминиферам и остракодам. *Стратиграфия. Геол. корреляция,* **8** (2), 38-56.
11. Лагутенко В.Н. (1976) К характеристике конгломератов среднекаменноугольных отложений на восточном склоне Среднего Урала. *Петрография обломочных пород восточного склона Урала и Мугоджар.* Свердловск, УНЦ АН СССР, 55-67.
12. Лагутенко В.Н., Постоялко М.В. (1973) К стратиграфии и палеогеографии ниже-и среднекаменноугольных отложений восточного склона Среднего Урала. *Стратиграфия и нефтеносность карбона западного Урала и Приуралья. Тр. Пермского политехнического института,* **121**, 129-139.
13. Махлина М.Х., Алексеев А.С., Горев Н.В., Исакова Т.Н., Друцкой С.Н. (2001) Средний карбон Московской синеклизы (южная часть). Т. 1. Стратиграфия. М.: ПИН РАН, 244 с.
14. Мигунов Л.В., Майдль Т.В. (1992) О карстовых процессах в отложениях серпуховского яруса поднятия Чернышева. *Тр. Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН,* (76), 46-50.
15. Мизенс Г.А. (1989) Эпигенетические брекчии среди нижнепермских отложений западного склона Урала. *Новые данные по геологии Урала и Средней Азии.* Свердловск: УрО АН СССР, 137-141.
16. Мизенс Г.А., Кокшина Л.В. (2009) Палеокарст в нижнекаменноугольных известняках восточного склона Среднего Урала. *Ежегодник-2008.* Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 156, 162-165.
17. Мизенс Г.А., Степанова Т.И., Кучева Н.А. (2012) Восточные зоны Среднего Урала в карбоне (эволюция бассейнов осадконакопления и особенности палеотектоники). *Литосфера,* (4), 107-126.
18. Мизенс Г.А., Степанова Т.И., Кучева Н.А. (2013) Эволюция бассейнов осадконакопления коллизионной стадии развития Урала. *Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории. Мат-лы VII Всерос. литол. совещ.* Т. 2. Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 268-271.
19. Мизенс Г.А., Степанова Т.И., Кучева Н.А., Коровко А.В. (2007) Фациальные особенности башкирских обломочных пород на восточном склоне Среднего Урала. *Ежегодник-2006.* Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 94-100.
20. Мизенс Г.А., Кучева Н.А., Степанова Т.И., Мизенс Л.И., Толоконникова З.А., Иванова Р.М., Рыльков С.А. (2011) Стратиграфия и условия образования девонских и каменноугольных отложений Тобол-Убаганского поднятия и Вагай-Ишимской впадины (юго-западная окраина Западной Сибири). *Литосфера,* (4), 20-44.
21. Постоялко М.В., Кучева Н.А., Степанова Т.И., Шишова Д.И. (1999) Фаунистическая характеристика отложений фаменского и турнейского ярусов в разрезе "Першино". *Проблемы стратиграфии и палеонтологии Урала.* Екатеринбург: Минприроды РФ; Комприроды по Свердловской обл.; ОАО УГЭС, 114-136.

22. Постоялко М.В., Плюснина А.А., Арбанова Е.С., Степанова Т.И., Черепанова Н.А. (1990) Турнейские отложения карбона по р. Реж (разрез "Першино"). *Новые данные по геологии Урала, Западной Сибири и Казахстана*. Свердловск, ИГГ УрО АН СССР, 74-94.
23. Пронин А.А. (1960) Карбон восточного склона Среднего Урала. М.; Л.: АН СССР, 231 с.
24. Пучков В.Н. (2010) Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 280 с.
25. Сандула А.Н. (2002) Генетические типы известняковых брекчий карбона Печорского Урала. *Докл. АН*, **385**(3), 393-395.
26. Степанова Т.И., Кучева Н.А., Постоялко М.В. (2008) Литолого-стратиграфическая характеристика нижневизейских карбонатных отложений бассейна р. Реж (мироновская свита) на восточном склоне Среднего Урала. *Литосфера*, (5), 15-38.
27. Унифицированные и корреляционные стратиграфические схемы Урала (1980). Свердловск: УКСЭ.
28. Чувашов Б.И., Иванова Р.М., Колчина А.Н. (1984) Верхний палеозой восточного склона Урала. Стратиграфия и геологическая история. Свердловск: УНЦ АН СССР, 230 с.
29. Шрок Р. (1950) Последовательность в свитах слоистых пород. М.: Изд-во ИЛ, 564 с.
30. Alekseev A.S., Kononova L.I., Nikishin A.M. (1996) The Devonian and Carboniferous of the Moscow Syncline (Russian Platform): stratigraphy and sea-level changes. *Tectonophysics*, **268**, 149-168.
31. Evans J.E., Reed J.M. (2007) Integrated loessite-paleokarst depositional system, early Pennsylvanian Molas Formation, Paradox Basin, southwestern Colorado, U.S.A. *Sediment. Geol.*, **195**, 161-181.
32. Jones B., Manning D.A.C. (1994) Composition of geochemical indices used for the interpretation of paleoredox conditions in ancient mudstones. *Chem. Geol.*, **111**, 111-129.
33. Mamet B., Claeys Ph., Herbosch A., Pr  at A.; Wolfowicz Ph. (1986) La "grande breche" viseenne des Bassins de Namur et de Dinant (Belgique) est probablement une breche d'effondrement. *Bull. Soc. Belge geol.*, **95**(2-3), 151-166.
34. Popomoni-Papaioanou F., Karakitsios V. (2002) Facies analysis of the Tripoli carbonate unit (Upper Triassic) in central-western Crete (Greece): an evaporate formation transformed into solution-collapse breccias. *Sedimentology*, **49**, 1113-1132.

Ancient karst at the eastern slope of the Middle Urals and the Early-Middle Carboniferous boundary

G. A. Mizens, L. V. Badida, T. I. Stepanova, N. A. Kucheva

Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS

The paleokarst occurrences associated with Lower Carboniferous limestones in the east of the Middle Urals are considered. We analyze the nature of the Early-Middle Carboniferous boundary. We argue the absence of a long break at the end of the Early Carboniferous in the Middle Urals. Uplifts were in blocks and quickly destroyed. It's most likely that karst is Mesozoic in age. Probably, two types of its manifest related to different mobility of underground waters that filled karst caverns after their formation.

Key words: *paleokarst, Carboniferous, Mesozoic, Early-Middle Carboniferous boundary, hiatus, uplift, crust of weathering, collapse breccias, gigantocrystalline calcite.*

REFERENCES

1. Alekseev A.S., Kossovaya O.L., Goreva N.V. (2013) Status and prospects of improvement of the general scale Carboniferous system of Russia. *Obshchaya stratigraficheskaya shkala Rossii: sostoyanie i perspektivy obustroistva. Mat-ly Vseros. konf.* [General stratigraphic scale of Russia: state and prospects of resettlement Materials of the All-Russian Conference]. Moscow, GIN RAN, 165-177. (In Russian)
2. Alekseev A.S., Reimers A.N. (2010) The climate of the Carboniferous period and its dynamics in the East European Platform and the western slope of the Urals. *Urala. Geologiya i nefte-gazonosnost' severnykh raionov Uralo-Povolzh'ya. Mat-ly Vseros. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 100-letiyu so dnya rozhdeniya prof. P.A. Sofronitskogo* [Geology and oil-gaz-bearing northern parts of Ural-Volga region. Materials of the All-Russian scientific-practical conference dedicated to the 100th anniversary prof. P.A. Sofronitskii]. Perm', Perm'skii St. University, 16-18. (In Russian)
3. Garan' I.M., Postoyalko M.V. (1975) Stratigraphy of the Lower Carboniferous of the Middle Urals. Coal deposits in the Urals. *Kamennougol'nye otlozheniya na Ura-*

- le [Carboniferous deposits in the Urals]. Sverdlovsk, IGG UNTs Akad. Nauk SSSR, 47-67. (In Russian)
4. Gevirtz M.I. (1964) Buried paleokarst the eastern part of the Middle Urals. *Gidrogeologiy i karstovedenie. Vyp. 2* [Hydrogeology and karst-study. Vol. 2]. Perm. Stat. Univ. Sci. notes, **119**, 93-101. (In Russian)
5. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie). *Ceriya Ural'skaya. List O-41. Ekaterinburg. Ob'yasnitel'naya zapiska* (G.A. Petrov, A.A. Zhiganov, V.V. Stefanovskii, V.V. Shalaginov, T.A. Getrova, R.A. Ovchinnikov, T.A. Gertman). (2011) [State geological map of the Russian Federation. Scale 1 : 1 000 000 (third generation). Series Urals. O-41 Sheet. Ekaterinburg. Explanatory note]. St-Petersburg, VSEGEI, 492 p. (In Russian)
6. Ershova V.B., Prokop'ev A.V., Hudolei A.K., Fefilova L.A. (2012) Deposits paleo-caverns as indicators paleogeographic environments of the Carboniferous period in the north-east of the Siberian. *Dokl. Akad. Nauk*, **442**(4), 511-515. (In Russian)
7. Zhaimina V.Ya. (2007) Biotic and abiotic events at the boundary of the Devonian and Carboniferous systems in Kazakhstan. *Verkhni paleozoi Rossii: stratigrafiya i paleogeografiya. Mat-ly Vseros. konf.* [Upper Paleozoic of Russia: stratigraphy and paleogeography. Materials of the All-Russian Conference]. Kazan', Kas. St. Univ., 107-110. (In Russian)
8. Zhemchugova V.A. (1998) *Verkhni paleozoi Pechorskogo neftegazonosnogo basseina (stroenie, usloviya obrazovaniya, neftegazonosnost')* [Upper Paleozoic of the Pechora oil basin (structure, conditions of formation, oil and gas)]. Syktyvkar, Geoprint Publ., 160 p. (In Russian)
9. Ivanova R.M., Plyusnina A.A. (1990) Serpukhovian stage section along the rivers Pyshma and Kunar in the Middle Urals. *Novye dannye po geologii Urala, Zapadnoi Sibiri i Kazakhstana* [New data on the geology of the Urals, Western Siberia and Kazakhstan]. Sverdlovsk, Ural Branch Akad. Nauk SSSR, 108-116. (In Russian)
10. Kulagina E.I., Pazuhin V.N., Nicolaeva S.V., Kochetova N.N. (2000) Zonal partition of Syuranskii horizon Bashkirian stage in the South Urals by Ammonoidea, conodonts, foraminifers and ostracods. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **8**(2), 38-56. (In Russian)
11. Lagutenko V.N. (1976) On the characterization of Middle Carboniferous conglomerates on the eastern slope Middle Urals. *Petrografiya oblomochnykh porod vostochnogo sklona Urala i Mugodzhary* [Petrography of clastic rocks on the eastern slope of the Urals and in Mugodzhary]. Sverdlovsk, UNTs Akad. Nauk SSSR, 55-67. (In Russian)
12. Lagutenko V.N., Postoyalko M.V. (1973) On the stratigraphy and paleogeography the Lower and Middle Carboniferous deposits on the eastern slope of Middle Urals. *Stratigrafiya i neftenosnost' karbona zapadnogo Urala i Priural'ya* [Stratigraphy and oil-bearing of Carboniferous Western Urals and Cis-Uralian area]. Proc. Permian Polytechnical Institute, **121**, 129-139. (In Russian)
13. Makhlina M.Kh., Alekseev A.S., Goreva N.V., Isakova T.N., Drutskoi S.N. (2001) *Sredni karbon Moskovskoi sineclizy (yuzhnaya chast')*. T. 1. *Stratigrafiya* [Middle Carboniferous Moscow syncline (the southern part). V. 1. Stratigraphy]. Moscow, PIN RAN Publ., 244 p.
14. Migunov L.V., Maidl' T.V. (1992) On the karst processes in Serpukhovian stage sediments of Chernyshov raising. *Proc. Institute of Geology Komi Sci. Centre UrO RAN*, **76**, 46-50. (In Russian)
15. Mizens G.A. (1989) Epigenetic breccias among the Lower Permian deposits of the western slope of the Urals. *Novye dannye po geologii Urala i Srednei Azii* [New data on the geology of the Urals and Central Asia] Sverdlovsk, Ur. Br. Akad. Nauk SSSR, 137-141. (In Russian)
16. Mizens G.A., Kokshina L.V. (2009) Paleokarst in Lower Carboniferous limestones of the eastern slope of the Middle Urals. *Yearbook-2008*. Trudy IGG UrO RAN. V. 156, 162-165. (In Russian)
17. Mizens G.A., Stepanova T.I., Kucheva N.A. (2012) Eastern zones of the Middle Urals in the Carboniferous (the evolution of sedimentary basins and peculiarity of paleotectonics). *Litosfere*, (4), 107-126. (In Russian)
18. Mizens G.A., Stepanova T.I., Kucheva N.A. (2013) The evolution of sedimentary basins during collision stage of development of the Urals. *Osadochnye basseiny, sedimentatsionnye i postsedimentatsionnye protsessy v geologicheskoi istorii. Mat-ly VII Vseros. litolog. soveshch. T. 2* [Sedimentary basins, sedimentary and postsedimentary processes in geological history. Proc. of the VII All-Russian lithology meeting. V. 2]. Novosibirsk, INGG SB RAN, 268-271. (In Russian)
19. Mizens G.A., Stepanova T.I., Kucheva N.A., Korovko A.V. (2007) Facial peculiarity of Bashkirian clastic rocks on the eastern slope of the Middle Urals. *Yearbook-2006*. Ekaterinburg, IGG UrO RAN, 94-100. (In Russian)
20. Mizens G.A., Kucheva N.A., Stepanova T.I., Mizens L.I., Tolokonnikova Z.A., Ivanova R.M., Ryl'kov S.A. (2011) Stratigraphy and conditions of formation of the Devonian and Carboniferous sediments Tobol-Ubagan raising and Wagai-Ishim depression (south-western border of Western Siberia). *Litosfere*, (4), 20-44. (In Russian)
21. Postoyalko M.V., Kucheva N.A., Stepanova T.I., Shirshova D.I. (1999) Faunal characteristics of Famennian and Tournasian stages sediments in the "Pershino" sequence. *Problemy stratigrafii i paleontologii Urala* [Problems of stratigraphy and paleontology of the Urals]. Ekaterinburg, OAO UGSE, 114-136. (In Russian)
22. Postoyalko M.V., Plyusnina A.A., Arbanova E.S., Stepanova T.I., Cherepanova N.A. (1990) Tournasian Carboniferous deposits on the river Rezh (sequence "Pershino"). *Novye dannye po geologii Urala, Zapadnoi Sibiri i Kazakhstana* [New data on the geology of the Urals, Western Siberia and Kazakhstan]. Sverdlovsk, IGG UrO Akad. Nauk SSSR, 74-94. (In Russian)
23. Pronin A.A. (1960) *Karbon vostochnogo sklona Srednego Urala* [Carboniferous of the eastern slope of the Middle Urals]. Moscow; Leningrad, Akad. Nauk SSSR Publ., 231 p. (In Russian)
24. Puchkov V.N. (2010) *Geologiya Urala i Priural'ya (aktual'nye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii)* [Geology of the Urals and the Ural region (current questions of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)]. Ufa, DizainPoligrafServis Publ., 280 p. (In Russian)

25. Sandulov A.N. (2002) Genetic types of Carboniferous limestone breccia of the Pechora Urals. *Dokl. Akad. Nauk*, **385**(3), 393-395. (In Russian)
26. Stepanova T.I., Kucheva N.A., Postoyalko M.V. (2008) Lithologic and stratigraphic characteristics Lower Visean carbonate sediments in basin of Rezh river (Mironovo formation) on the eastern slope of the Middle Urals. *Litosfere*, (5), 15-38. (In Russian)
27. *Unifitsirovannye i korrelyatsionnye stratigraficheskie skhemy Urala* [Unified and correlational stratigraphic schemes of the Urals]. (1980) Sverdlovsk, UKSE. (In Russian)
28. Chuvashov B.I., Ivanova R.M., Kolchina A.N. (1984) *Verkhniy paleozoi vostochnogo sklona Urala. Stratigrafiya i geologicheskaya istoriya* [Upper Paleozoic of the eastern slope of the Urals. The stratigraphy and geologic history]. Sverdlovsk, UNTs Akad. Nauk SSSR Publ., 230 p. (In Russian)
29. Schrock R. (1950) *Posledovatel'nost' v svitakh sloistikh porod* [Consistency in suites of layered rocks]. Moscow, Publishing House Inostrannaya Literatura, 564 p. (In Russian)
30. Alekseev A.S., Kononova L.I., Nikishin A.M. (1996) The Devonian and Carboniferous of the Moscow Syncline (Russian Platform): stratigraphy and sea-level changes. *Tectonophysics*, **268**, 149-168.
31. Evans J.E., Reed J.M. (2007) Integrated loessite-paleokarst depositional system, early Pennsylvanian Molas Formation, Paradox Basin, southwestern Colorado, U.S.A. *Sediment. Geol.*, **195**, 161-181.
32. Jones B., Manning D.A.C. (1994) Composition of geochemical indices used for the interpretation of paleoredox conditions in ancient mudstones. *Chem. Geol.*, **111**, 111-129.
33. Mamet B., Claeys Ph., Herbosch A., Pr  at A.; Wolfowicz Ph. (1986) La "grande breche" viseenne des Bassins de Namur et de Dinant (Belgique) est probablement une breche d'effondrement. *Bull. Soc. Belge geol.*, **95**(2-3), 151-166.
34. Popomoni-Papaioanou F., Karakitsios V. (2002) Facies analysis of the Tripoli carbonate unit (Upper Triassic) in central-western Crete (Greece): an evaporate formation transformed into solution-collapse breccias. *Sedimentology*, **49**, 1113-1132.