

УДК 551.44:551.217.2

## ГЛИНИСТЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ В КАРБОНАТНЫХ ПЕЩЕРАХ УРАЛА

© 2009 В.А. Смирнов

*Пермский государственный университет им. А.М. Горького, Пермь, 614990; e-mail: permhome@mail.ru*

В работе обобщены результаты исследования нескольких пещер Западного Урала. Изучались залегающие в известняках тела агломератовых брекчий с глинистым цементом и элювиальные глинистые отложения пещер. Выявлены инъекционные взаимоотношения цемента брекчий с известняками; показано, что и цемент брекчий, и глинистые отложения пещер являются аргиллизированными грубозернистыми силикатными породами без признаков слоистости. Установлена близость состава этих пород с магматическими породами щелочно-основного состава. Выдвинута альтернативная гипотеза формирования некоторых типов полостей в карбонатных породах: полости в известняках могут возникать благодаря термической диссоциации карбоната кальция при внедрении высокотемпературной магмы.

*Ключевые слова:* Пермский край, пещеры, брекчии, пирокластиты, минералогия, инжецирование, аргиллизация.

### ВВЕДЕНИЕ

В 2001 году в пещере Усьвинская, расположенной на Западном Урале, в южной части Кизеловского каменноугольного бассейна, автором в коренном залегании были обнаружены нетипичные для карстовых образований, не описанные ранее в пещерах глинистые горные породы зеленоватого цвета, содержащие крупные, до 2 см, пластинчатые выделения минерала, внешне напоминающего серпентин. Обследование близлежащих пещер показало, что большинство из них содержат сходные породы. Это послужило толчком для комплексного изучения карбонатных пещер Кизеловского каменноугольного бассейна.

Исследования были сосредоточены в 10 пещерах и нескольких известняковых карьерах, расположенных на площади 10×40 км. Геологическое строение территории приводится на рис. 1. Пещеры расположены в массивных органогенных известняках нижнего и среднего отделов каменноугольной системы, смятых в крупные складки меридионального простирания. Углы падения известняков в районе пещер составляют 15-20°. Магматические горные породы на территории Кизеловского каменноугольного бассейна в ходе геологических исследований, проводившихся в течение XX века, не были установлены.

Пещеры и поля карстовых воронок отмеча-

ются на выходах карбонатных пород различного возраста; отчетливой приуроченности их к локальным складчатым или тектоническим структурам не наблюдается. Возраст пещер, судя по слабому развитию натечных образований, очень молодой, предположительно миоценовый.

Объектами исследования служили выявленные в процессе изучения пещер тела агломератовых брекчий с глинистым цементом, а также широко распространенные в пещерах элювиальные глинистые отложения.

Основной целью проводившихся работ являлось выяснение генетической принадлежности исследуемых объектов, т.к. некоторые их особенности допускают неоднозначное толкование условий их формирования.

### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

В ходе полевых работ отмечались особенности залегания и внутреннего строения исследуемых объектов, взаимоотношение их с вмещающими породами, морфология полостей, рассматривалась связь полостей с трещиноватостью карбонатных пород. Наблюдения сопровождалась фотосъемкой. Проводился отбор проб и образцов горных пород, шлиховых проб

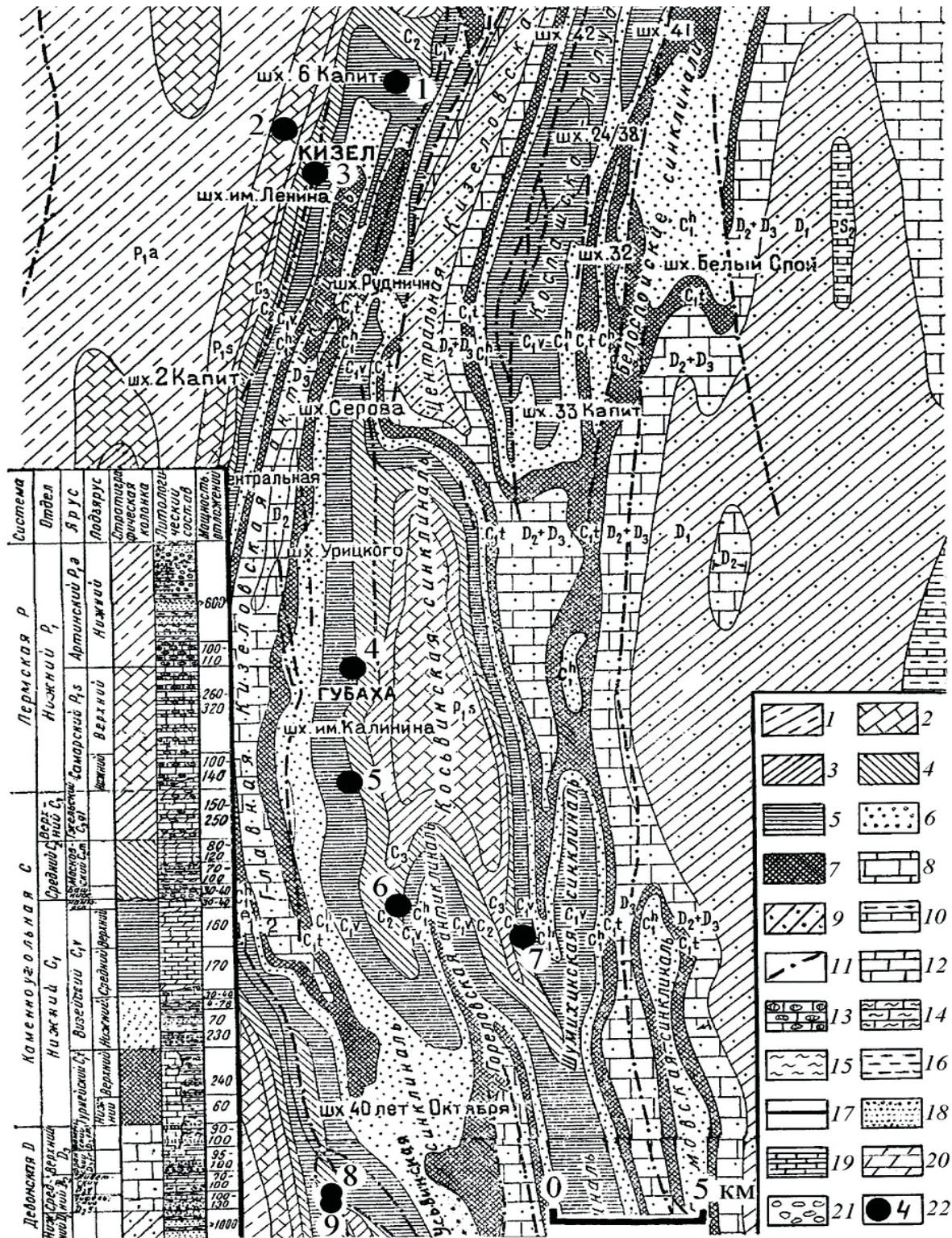


Рис. 1. Схематическая геологическая карта и стратиграфический разрез отложений Кизеловского каменноугольного бассейна и расположение пещер. Составлена с использованием данных (Геология ..., 1967).  
 1 – артинские отложения (P<sub>a</sub>); 2 – сакмарские отложения (P<sub>s</sub>); 3 – верхнекаменноугольные отложения (C<sub>3</sub>); 4 – среднекаменноугольные отложения (C<sub>2</sub>); 5 – средневизейские и верхневизейские отложения (C<sub>1</sub>); 6 – угленосная толща (нижний визе – верхний турне C<sub>1</sub>h); 7 – турнейские отложения (C<sub>1</sub>t); 8 – верхне- и среднедевонские отложения (D<sub>2</sub>+D<sub>3</sub>); 9 – нижнедевонские отложения (D<sub>1</sub>); 10 – силурийские отложения (S); 11 – разрывные нарушения; 12 – известняки; 13 – известняки кремнистые; 14 – известняки глинистые; 15 – аргиллиты; 16 – алевролиты; 17 – песчаники; 18 – уголь каменный; 19 – кремнистые включения; 20 – доломиты; 21 – конгломераты; 22 – исследованные пещеры и их номера: 1 – Вишерская, 2 – Расик, 3 – Медвежья, 4 – Мариинская и Труда, 5 – Российская, 6 – Два Уступа, 7 – Геологов-2, 8 – Усьвинская, 9 – Усьва-Угольная.

из глинистых отложений и из цемента брекчий, отбор материала для изготовления прозрачных шлифов и полированных образцов, каппаметрия глинистых образований. При полевых наблюдениях анализировалась возможность водного формирования исследуемых объектов.

Минералогический анализ проб из всех перечисленных пещер выполнен коллективом минералогов лаборатории ФГУП «Геокарта-Пермь». Для изучения структурно-текстурных особенностей глинистого цемента брекчий и глинистых отложений пещер были изготовлены (с пропиткой эпоксидной смолой) прозрачные шлифы (100 шт.) и полированные образцы (188 шт.), что ранее никем не практиковалось. Наиболее выразительными и информативными оказались полировки глинистого материала. Описание прозрачных шлифов выполнено петрографами ФГУП «Геокарта-Пермь» Т.И. Захаровой и С.В. Савченко.

Несколько проб и образцов были подвергнуты микронзондовому анализу в ЗАО «РАЦ Механобр Инжиниринг Аналит» (г. С.-Петербург) на приборе CamScan-4, с детектором LINK-10000. В лаборатории Института геологии и геохимии Уральского отделения РАН (г. Екатеринбург) выполнен анализ 10 проб глинистого материала рентгеноспектральным флуоресцентным методом на СРМ-18 и EDX-900HS; там же 8 проб подвергнуты рентгеноструктурному анализу и 4 – термическому (аналитик Т.Я. Гуляева). Одна проба исследована на сканирующем электронном микроскопе JSM-6400 в лаборатории Института геологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар). Измерения магнитной восприимчивости рыхлых пещерных отложений и брекчий проводились в полевых условиях каппаметром КТ-5.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ АГЛОМЕРАТОВЫХ БРЕКЧИЙ

Если глинистые отложения различных пещер по большинству своих характеристик

**Таблица 1.** Химический состав слюды и некоторых микроминеральных включений (т.н. 7033), мас. %

| Окислы                         | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 51.59 | 55.96 | 54.02 | 55.63 | 54.88 | 45.52 | 12.96 | 10.10 | 7.00  |
| TiO <sub>2</sub>               | 1.42  | 0.61  | 0.72  | 0.70  | 0.48  | 0.66  | 47.19 | 1.19  | 1.36  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 20.56 | 20.69 | 20.68 | 20.38 | 21.43 | 17.48 | 6.22  | 4.70  | 3.78  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 10.09 | 6.31  | 7.18  | 6.64  | 6.59  | 6.23  | 28.29 | 75.14 | 76.51 |
| MgO                            | 4.34  | 5.23  | 4.24  | 5.34  | 5.12  | 4.37  | 2.09  | -     | -     |
| CaO                            | 0.75  | -     | 1.40  | 0.66  | 1.07  | 1.09  | 0.25  | 0.79  | 0.41  |
| K <sub>2</sub> O               | 7.57  | 7.92  | 7.19  | 7.41  | 7.18  | 7.30  | 1.38  | 1.08  | 1.05  |
| Сумма                          | 96.32 | 96.72 | 95.43 | 96.76 | 96.75 | 82.65 | 98.38 | 84.00 | 90.11 |

Примечание. 1–5 – слюда, индивиды; 6 – слюда, по площади; 7 – ильменит (с наводками от слюды); 8, 9 – гидрогетит. Анализы выполнены в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН сканирующем электронном микроскопе JSM-6400, оснащенный спектрометром фирмы «Link» с дисперсией по энергиям. Аналитик В.Н. Филиппов.

схожи между собой, то каждое из тел брекчий обладает индивидуальными особенностями. «Брекчиями» данные породы названы условно; они сложены округленными (но не окатанными) обломками известняков и остроугольными обломками аргиллизированных силикатных пород, сцементированными зеленоватым, реже коричневым глинистым материалом. Геологи, изучавшие Губахинское месторождения известняка, относили подобные образования к палеокарстовым (Синяев, Субботин, 1979<sup>1</sup>). Часть исследователей (Голубева, Махлаев, 2005) считают их магматогенными «валунными дайками».

В составе цемента брекчий преобладающим минералом, по данным рентгеноструктурного и термического анализа, является глауконит (или селадонит, т.к. порошковые рентгенограммы и оптические показатели их схожи). По составу (табл. 1) и по данным рентгеновской дифрактометрии глинистой составляющей прожилка этого минерала (проба 7033) сделано заключение о том, что минерал ближе всего к алюмоселадониту, то есть к диоктаэдрической слюде. Данное определение мы распространили и на другие пробы, в которых рентгеноструктурным и термическим анализами, как и в пробе 7033, двойко определен глауконит или селадонит. В дальнейшем в работе мы именуем этот минерал алюмоселадонитом.

Всего в пещерах выявлен 21 выход агломератовых брекчий и секущих тел, цемент которых представлен зеленоватым глинистым материалом. Приведем описание трех выходов брекчий.

**Пещера Усьвинская, грот Плоский** (т.н. 54, 7106, 7107). Грот представляет собой низкую овальную полость размерами 10×7×(0.7-1.5) м со следами обрушения потолка по трещинным инъекциям глинистого материала. По периферии грота обнажаются агломератовые брекчии с

<sup>1</sup>Синяев А.И., Субботин Г.Д. Отчет о результатах детальной разведки известняков г. Белой Губахинского месторождения для производства технологической извести и соды. Т. 1. Кизел, 1979. 238 с.

зеленоватым глинистым цементом. Переход от брекчий к вмещающим известнякам, инъецированной зеленоватой глиной, постепенный: уменьшается количество глины, цементирующей обломки. На полу по всей площади грота – обломочные отложения, представленные обрушенными брекчиями; мощность их более 0.6 м.

Обломочный материал брекчий представлен известняками, массивными аргиллизитами зеленого цвета и аргиллизитами зональной окраски (зеленоватого, коричневого цвета), текстурой напоминающими игнимбрит. Структура последних, ввиду наличия разрозненных зерен карбоната, напоминает порфиоровую. Цементирует обломки в одних случаях мелкообломочная брекчия того же состава, что и обломки (рис. 2а), в других – игнимбритоподобная порода, нередко инъецирующая известняки.

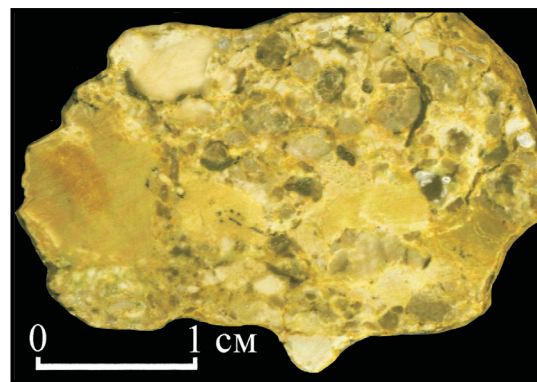
Из цемента брекчий взяты минералогические пробы №№ 7106 и У-54-6А. Тяжелая фракция их на 98% представлена гидроксидами железа, в т.ч. по пириту. Характерно наличие алюмоселадонита, магнитных сферул.

На микрофотографиях полированных шлифов из т.н. 54 установлено корродирование зерен кальцита иллитом и наличие округлых обломков иллита, закатанных в лимонитовый субстрат. Состав иллита (мас. %, средние значения):  $\text{SiO}_2$  – 56.07;  $\text{TiO}_2$  – 0.90;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 21.97;  $\text{FeO}$  – 7.56;  $\text{MnO}$  – 0.00;  $\text{MgO}$  – 4.52;  $\text{CaO}$  – 0.22;  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  – 0.00;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 0.00;  $\text{K}_2\text{O}$  – 8.39.

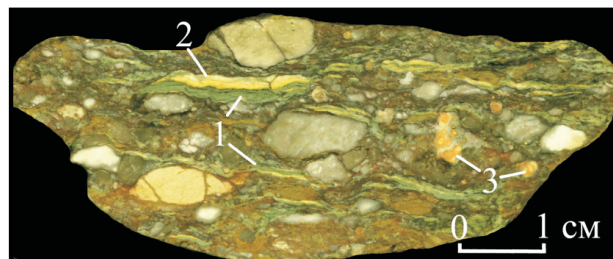
В прозрачных шлифах определены: брекчия органогенного известняка с глинистым цементом и с жилками иллита (шл. У-54-1), брекчия известняка, инъецированная измененным стеклом (шл. У-54-2), брекчия известняка с глинисто-карбонатным цементом.

**Пещера Усвинская, грот Серпентиновый** (т.н. 7033). В стенах и потолке грота обнажаются пласты зеленоватой брекчии мощностью до 0.6 м. Брекчия состоит из обломков органогенного известняка, игнимбритоподобной глинистой породы зеленовато-коричневого цвета и глинистого цемента. Контакты с вмещающими известняками инъекционные, через зоны брекчирования.

Игнимбритоподобная порода (рис. 2б) имеет брекчиевую, флюидизированную текстуру. По результатам описания шлифов, цементом служит темно-бурая, зеленовато-бурая глинистая масса (микрочешуйчатый, тонковолокнистый агрегат хлорита). Она выполняет угловатые, неправильные, вытянутые промежутки между обломками, плавно обтекает обломки известняков, проникает в тонкие трещины. Глинистая масса содержит включения мелких зерен лимонита округлой и кубической формы. Иногда в



а



б

**Рис. 2.** Брекчия с глинистым цементом. Полированные образцы: а – 7107-А1; б – 7033. Линзочки зеленого глинистого минерала (1) сопряжены с карбонатными прожилками (2); 3 – выделения халцедона.

глинистой массе проступают пятна округлой, вытянутой формы размером 0.2-0.3 мм. Своей структурой цемент напоминает сильно измененную стекловатую основную массу щелочно-основного состава, но формальных доказательств нет. Для породы характерны сопряженные с линзочками зеленого глинистого минерала (алюмоселадонита, проба 7033) прожилки кальцита желтого цвета, волокнистой структуры (волокна ориентированы поперек прожилков), и выделения оранжевого халцедона, имеющие гексагональные затравочные центры.

**Пещера Два Уступа, грот Южный** (т.н. 7095). Субпластовое тело агломератовых брекчий мощностью 1.2-1.5 м залегает согласно с напластованием известняков. Оно сложено округлыми обломками (псевдогальками), сцементированными зеленоватой, зеленовато-желтой глинистой породой. В кровле тела в известняках отмечаются просечки зеленого глинистого материала, состоящего, по данным рентгеноструктурного анализа (проба 7095), из алюмоселадонита, кальцита и кварца. Известняки в экзоконтакте (2-3 см) существенно темнее, чем на удалении от контакта.

Нижняя часть пласта брекчий приблизительно на 70% представлена обломочным

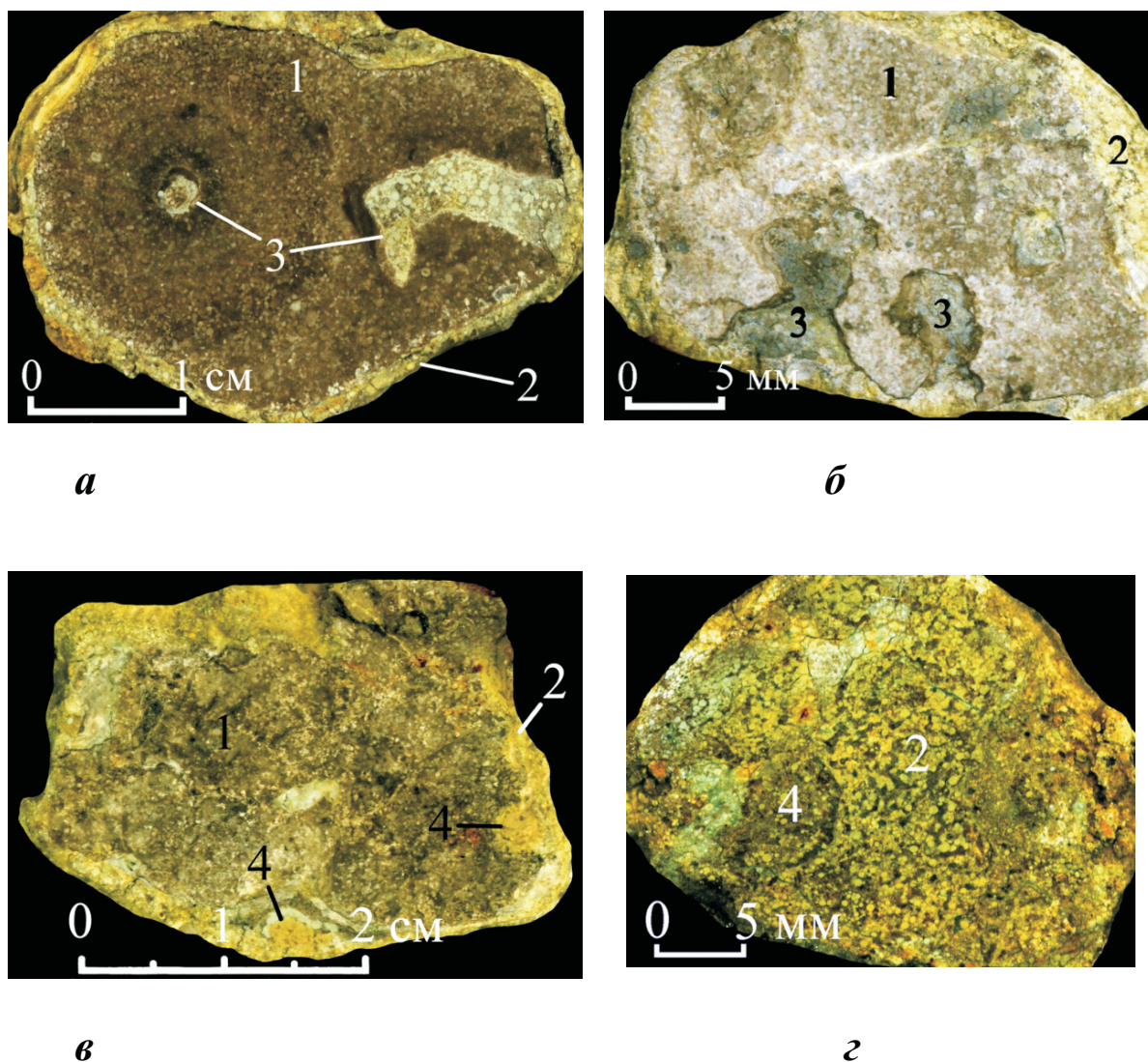
материалом. Две трети обломков представлено известняками темно-коричневого цвета, корродированными глинистым цементом брекчий; 1/3 – закатанными в глинистый цемент обломками аргиллизированных силикатных пород.

**Обломки известняков** имеют темно-коричневую окраску, тогда как цвет вмещающих известняков – светло-серый. Форма обломков округлая. Отмечается инъецирование обломков цементом брекчий. Так, в образце 7095-1А вскрыт канал изогнутой формы, толщиной 3-4 мм, заполненный цементом (рис. 3а). По форме он напоминает «органную трубу» в миниатюре. Наглядный пример внедрения цемента в известняк приведен также на рис. 3б. Инъецирование обломков известняка цементом брекчий проявляется в виде плавных «залيفов» и «червоточин» без каких-либо признаков гидротермального процесса; реже встречаются трещины в известняке,

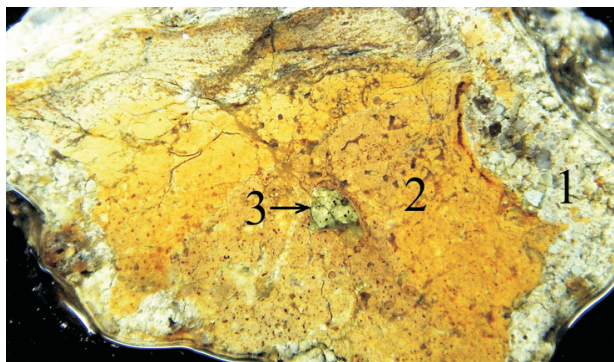
выполненные глинистым цементом.

В полированном образце 7095-4 в цементе, инъецирующем известняк, отмечены две гексагональные глинистые псевдоморфозы бурого цвета (около 2 мм) по неустановленному минералу (рис. 3в). В экзоконтактах псевдоморфоз наблюдаются бурая и зеленая реакционные каймы.

**Обломки силикатных пород.** До 1/3 обломков в нижней части пласта представлено аргиллизированными породами массивной и брекчиевой текстуры, грязно-желтого цвета, с обилием микровключений лимонита. В обломках желтой глинистой породы встречаются обособления (псевдоморфозы) глинистого минерала зеленого цвета (рис. 4а). Обломки брекчий, закатанные в глинистый цемент, сложены остроугольными обломками (до 1 см) аргиллизитов коричневатого цвета, сцементированными зеленоватым, желто-



**Рис. 3.** Обломки известняка в глинистом цементе зеленоватого цвета, инъецированные этим цементом. Полированные образцы: а – 7095-1А, б – 7095-2, в – 7095-4, г – 7095-5. 1 – известняк, 2 – глинистый цемент, 3 – инъекции цемента в известняке, 4 – порфиновые выделения в цементе брекчий.



*a*



*б*

**Рис. 4.** Обломки аргиллизитов в составе агломератовых брекчий. Полированные образцы: *a* – 7095-11 (40×25 мм); *б* – 7095-Б9 (25×34 мм). 1 – глинистый цемент; 2 – массивная аргиллизированная порода светло-коричневого цвета; 3 – глинистая псевдоморфоза ярко-зеленого цвета.

ватым глинистым материалом (рис. 4б).

**Цемент брекчий.** При детальном рассмотрении микрофотографий цемента брекчий обращает на себя внимание обилие (более 50% объема породы) мелких – сотые доли мм – зерен новообразованного глинистого минерала бледно-зеленого цвета, нередко имеющих гексагональные очертания. Внутреннее строение их однородное. Изредка наблюдаются крупные темные структуры, образованные скоплениями этих зерен по фенокристаллам неуставленного минерала (рис. 3з) или по обломкам пород.

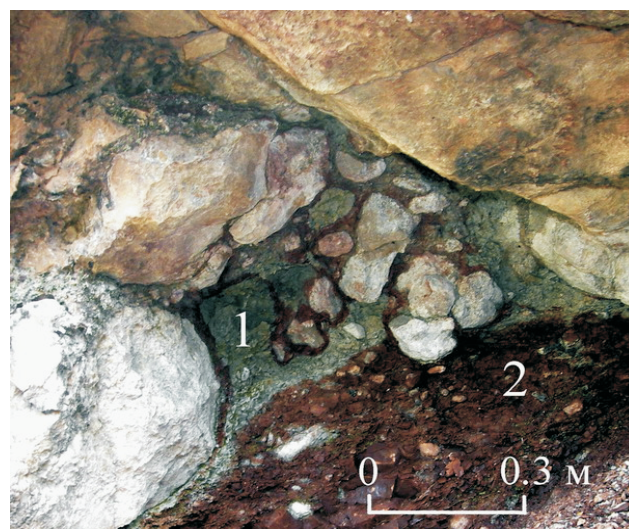
В прозрачных шлифах определена брекчия известняков и аргиллизитов с буровато-зеленым глинистым цементом. Структура – псаммопсефитовая, текстура брекчиевая. Обломки аргиллизитов (0.1-0.8 мм) имеют округлую, овальную форму; состоят из тонковолокнистого, микрочешуйчатого агрегата грязновато-зеленого хлорита. Во многих обломках наблюдается оолитовидное строение. Форма некоторых обломков

имеет сходство с обломками зерен оливина или с оолитами из обломков известняков. Цементом служит гидрослюдисто-глинистый агрегат буровато-зеленого цвета, тонковолокнистый, микрочешуйчатый с включениями мелких обломков тонкозернистого агрегата кальцита. Предположительно, порода представляет собой сильно измененный ксенотуф щелочно-основного состава, но веских доказательств нет, кроме слабого структурного сходства.

Из глинистого цемента брекчий взяты две минералогические пробы. Тяжелая фракция на 98% представлена гидроксидами железа и псевдоморфозами лимонита по пириту, на 0.3% – алюмоселадонитом. Помимо прочих минералов, следует отметить наличие хромшпинелида, хлоритоида, муассанита, магнитных сферул.

В верхней части пласта наблюдается постепенный переход от желтовато-зеленого глинистого цемента брекчий к вышележащим глинистым отложениям коричневого цвета – закисное железо переходит в окисное.

**Общие признаки агломератовых брекчий.** *Залегание брекчий* инъекционное; чаще встречаются субпластовые тела, но есть и тела, отчетливо секущие слоистость. Так, в Кизеловском карьере, в пределах которого находится вход в Медвежью пещеру, зафиксирован подводящий канал к наклонному пласту брекчий, а тело брекчий сложной конфигурации – в Виашерской пещере. Мощность тел варьирует от десятков сантиметров до десятков метров. Наиболее крупное (до 50×60 м в плане) крутопадающее тело брекчий вскрыто карьером возле Мариинской пещеры. На рис. 5 представлен его фрагмент, где четко



**Рис. 5.** Мариинский карьер № 3, т.н. 7245-21. Фрагмент выхода агломератовых брекчий с зеленым (1) и коричневым (2) цементом. В центре снимка вокруг обломков известняка – коричневая глинистая оторочка.

отмечается неоднородность цемента брекчий.

**Петрографическое изучение** агломератовых брекчий, проведенное по полированным образцам и прозрачным шлифам, позволило установить следующие их особенности:

- обломочный материал представлен округленными (но не окатанными) обломками известняка, реже – обломками аргиллизированных силикатных пород массивной и брекчиевой текстуры, имеющими нередко остроугольные очертания (то есть аргиллизированными после формирования брекчий);

- цемент брекчий глинистый, имеет зеленую, реже коричневую окраску. Он состоит в одних случаях из мелких новообразований зеленого глинистого минерала, имеющих нередко гексагональные очертания, в других представляет собой сплошную однородную глинистую массу без признаков зернистости или слоистости. В отдельных случаях цемент имеет игнимбритовую текстуру;

- широко распространено инъецирование цемента брекчий во вмещающие породы и в обломки брекчий;

- обломки известняков в составе брекчий повсеместно имеют темно-коричневую окраску (при светло-серой окраске вмещающих известняков), что может являться внешним признаком их термального изменения;

- встречаются псевдоморфозы (иногда гексагонального сечения), выполненные глинистым, карбонатным, кварцевым, лимонитовым материалом и создающие подобие порфириковой структуры цемента брекчий. Отмечаются гломеропорфириковые сочетания псевдоморфоз; в отдельных случаях в псевдоморфозах наблюдаются извилистые трещины, характерные для оливина, хотя никаких конкретных указаний на исходный состав минерала нет. Псевдоморфозы чаще представлены теньевыми структурами.

**Минеральный состав** тяжелой фракции цемента брекчий изучен по 28 пробам. Необходимо отметить преобладание в составе тяжелой фракции гидроксидов железа (90-100%); выход ее достигает 13 кг/м<sup>3</sup>. Определены также альмандин, амфибол, анатаз, апатит, барит, гематит, гроссуляр, ильменит, карбонат, кварц, корунд, лейкоксен, магнетит, магнитные гидроокислы железа, марказит, мартит, гидроксиды марганца, малахит, муассанит, пироксен моноклинный и ромбический, пирит, рутил, селадонит, слюда бесцветная, слюдистые обломки, ставролит, стекло вулканическое, сфен, сферулы магнитные, сферулы металлические, турмалин, карбонат-фосфатные обломки, фуксит, халькопирит, хлоритоид, хлорит, хромдиопсид, хромшпинель, циркон, эпидот. Отмечены зерна вулканического шлака. В легкой фракции

преобладают карбонат, гидроокислы железа, селадонит; встречаются слюдистые обломки, гидроокислы марганца, кварц, хлорит, кремь, мусковит.

Магнитные сферулы, характерные для вулканогенных образований (от тектитов они отличаются правильностью формы), в отдельных пробах составляют до 95% магнитной фракции. Выявленный комплекс минералов в общих чертах соответствует комплексу минералов глинистых отложений пещер. Степень окатанности зерен варьирует; преобладают полуокатанные, но присутствуют и совершенно неокатанные, с зеркальными гранями зерна кварца, гематита, магнетита, ильменита, хромшпинели.

**Химический состав** цемента агломератовых брекчий девяти проб, по данным рентгеноспектрального анализа, приведен в табл. 2. Общим свойством является повышенная концентрация калия в пробах, что указывает на щелочной состав исходной породы.

**Породообразующие минералы** цемента брекчий. Рентгеноструктурным анализом шести проб из глинистого цемента брекчий в значительных количествах (50% и более) определен слюдистый минерал, диагностируемый как глауконит или селадонит. Комплексный (рентгеноструктурный и термический) анализ пробы № 7033, взятой из обломка прожилка зеленого минерала, сопряженного с кальцитом (пещера Усьвинская, рис. 2б), показал наличие кальцита (66%), глауконита или селадонита (до 30%), гетита – 2%. Напомним, второй компонент данной пробы определен электронной микроскопией как алюмоселадонит.

По данным рентгеноструктурного анализа, в четырех пробах из цемента брекчий установлено наличие (по убыванию) следующих минералов: № 7106 (пещера Усьвинская) – селадонит, кальцит, хлорит, кварц, амфибол (следы); № 7027 (пещера Российская) – селадонит (явно более 50%), кварц, кальцит, полевые шпаты; № 7029 (п. Российская) – селадонит, кварц, кальцит; № 7095 (пещера Два Уступа) – селадонит, кальцит, кварц. Две пробы из цемента брекчий подвергнуты рентгеноструктурному и термическому анализу; в результате в пробе № 7036 из пещеры Вишерской определены селадонит (60%), кальцит (17%), полевые шпаты (10-12%), монтмориллонит (5%), кварц (3%) и гетит (3%), а в пробе № 7245-22 из Мариинского карьера № 3) – селадонит (48%), кальцит (45%) и кварц (5%).

Очевидно, что происхождение глинистого цемента брекчий не осадочное: постепенных переходов известняков в глинистые породы не обнаружено, контакты с известняками четкие, с признаками инъецирования. Алюмоселадонит,

ГЛИНИСТЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ В КАРБОНАТНЫХ ПЕЩЕРАХ

Таблица 2. Состав цемента агломератовых брекчий и глинистых отложений пещер, мас. %

| № пробы                        | 7027  | 7033  | 7036  | 7037  | 7038  | 7041-В | 7095-Б | 7235  | 7245-1 | 7035  |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|
| № п/п                          | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6      | 7      | 8     | 9      | 10    |
| SiO <sub>2</sub>               | 55.36 | 29.2  | 46.95 | 46.50 | 50.25 | 36.69  | 37.72  | 49.20 | 31.51  | 57.78 |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.760 | 0.250 | 0.522 | 0.536 | 0.501 | 0.495  | 0.549  | 0.463 | 0.373  | 0.679 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 16.63 | 7.47  | 12.38 | 12.99 | 12.65 | 12.16  | 13.81  | 12.50 | 11.31  | 12.90 |
| FeO <sub>общ</sub>             | 4.69  | 2.31  | 5.60  | 3.90  | 5.67  | 3.43   | 3.57   | 3.71  | 3.28   | 6.11  |
| MnO                            | 0.024 | 0.01  | 0.021 | 0.019 | 0.019 | 0.022  | 0.018  | 0.018 | 0.017  | 0.139 |
| MgO                            | 3.49  | 1.18  | 2.10  | 1.71  | 2.01  | 1.78   | 2.67   | 3.02  | 2.71   | 0.80  |
| CaO                            | 2.90  | 25.6  | 9.86  | 13.09 | 9.70  | 17.96  | 16.17  | 10.93 | 20.26  | 6.84  |
| Na <sub>2</sub> O              | <1    | <1    | <1    | <1    | <1    | <1     | <1     | <1    | <1     | <1    |
| K <sub>2</sub> O               | 7.12  | 2.45  | 4.29  | 4.19  | 4.29  | 3.79   | 3.92   | 5.48  | 4.16   | 1.29  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.07  | 0.13  | 0.02  | 0.13  | 0.01  | 0.32   | 0.03   | 0.04  | 0.12   | 0.09  |
| ппп                            | 8.43  | 31.00 | 17.88 | 16.64 | 14.45 | 23.13  | 21.30  | 14.40 | 25.85  | 12.80 |
| Сумма                          | 99.50 | 99.5  | 99.62 | 99.72 | 99.57 | 99.79  | 99.77  | 99.77 | 99.6   | 99.45 |

Примечание. Цемент брекчий: 1 – п. Российская; 2 – п. Усьвинская; 3, 4, 5 – п. Вишерская; 6 – п. Геологов-2; 7 – п. Два Уступа; 8 – Кизеловский карьер; 9 – Мариинский карьер. Глинистые отложения пещер: 10 – п. Усьвинская. Анализы выполнены в Лаборатории физических и химических методов исследования минерального вещества Института геологии и геохимии Уральского отделения РАН на аппаратуре СРМ-18 и EDX-900HS. Аналитики: В.П. Власов, Л.А. Татаринова, Г.М. Ятлук, Н.П. Горбунова.

как известно, является вторичным минералом, развивающимся по базальтоидам; следует отметить близость химического состава цемента брекчий к щелочным базальтоидам и наличие в нем магнитных сферул. Напрашивается вывод, что брекчии являются нацело измененными грубозернистыми силикатными породами щелочно-основного состава. Аналогичные образования охарактеризованы И.И. Голубевой и Л.В. Махлаевым (2005) как валунные дайки, сложенные магматитами эксплозивно-флюидизатного происхождения.

Отмечается также близость состава цемента брекчий и глинистых отложений пещер. Последнее соотносится с тем, что в ходе полевых наблюдений были отмечены случаи постепенного, по мере окисления, перехода зеленоватого глинистого цемента в коричневые глинистые отложения пещер.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ГЛИНИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПЕЩЕР

Определение «глинистые отложения пещер» в достаточной степени условно: до 30% веса большинства проб представлено фракцией >10 мм. Отложения на глубину до 5 см уплотнены под действием атмосферной влаги; ниже залегают однородный, рыхловатый, не слипшийся глинистый материал коричневого цвета, без признаков

слоистости, с мелкими, до первых см, белыми мучнистыми обломками частично разложившихся известняков. В четырех пещерах была отмечена зональность: коричневая окраска глины с глубиной сменялась грязно-зеленой, характерной для соединений закисного железа. Слоистость наблюдалась лишь в одной из залежей глин пещеры Два Уступа, представляющей собой конус выноса ручья.

Поверхность залежей глинистого материала, если это не слоистые (заведомо осадочные) отложения, в большинстве случаев повторяет в общих чертах форму потолка галерей и гротов. В полостях со сводчатым потолком глина слагает вытянутые вдоль галерей бугры высотой до 30-50 см. При поворотах галерей вершины бугров не смещаются к одной из стен, что было бы естественно с позиций гидродинамики, а располагаются под наиболее высокими участками сводов, как бы резко галереи не изгибались. Нередко они образуют острый гребень. В гротах с куполовидным потолком, где поток воды представить весьма затруднительно, поверхность залежи глины также наследует форму потолка. Эта особенность залегания «глинистых отложений» прекрасно известна всем спелеологам, но причина ее почему-то ранее не обсуждалась. Бугры не могли возникнуть вследствие сезонных промерзаний: на поверхности отложений отсутствуют мелкие камни, характерные для глинистых медальонов



районов многолетней мерзлоты. Бугры не могут возникать и при набухании монтмориллонита: отложения имеют рыхловатую консистенцию, а в отдельных случаях под острым гребнем отмечаются пустоты до 10 см. Форма залежей более напоминает результат осаждения пылевой взвеси.

**Минеральный состав.** Встреченные в тяжелой фракции «глинистых отложений» пещер минералы в наиболее общем плане делятся на следующие группы: металлы: медь; карбиды: муассанит; сульфиды: пирит, халькопирит; оксиды и гидроксиды: анатаз, брукит, гематит, ильменит, корунд, магнетит, рутил, хромшпинель, лимонит (в т.ч. по пириту), лейкоксен; карбонаты: кальцит, малахит; фосфаты: апатит, ксенотим, монацит; силикаты: альмандин, гроссуляр, амфибол, пироксен, кианит, силлиманит, ставролит, сфен, уваровит, оливин, циркон, цоизит, эпидот, турмалин, селадонит, кварц, пумпеллит, слюда бесцветная, хлорит, хлоритоид, хромдиопсид. Описаны образования, отнесенные И.И. Чайковским (2001) к взрывчатым: вулканическое стекло, шлак, магнитные сферулы. В нескольких пробах присутствует селадонит. Во всех пробах явно преобладают гидроксиды железа.

Для «глинистых отложений» пещер характерен очень высокий, нередко более 1 кг/м<sup>3</sup>, выход тяжелой фракции. Заметим, что в аллювиальном процессе минералы тяжелой фракции концентрируются, наоборот, в наиболее грубой фракции – в галечниках, но никак не в глине. Подобный минералогический состав характерен также для пещер Горного Крыма (Дублянский, Ломаев, 1980).

Магнитные сферулы – специфические образования, повсеместно встречающиеся и на поверхности, и в пещерных глинах – имеют, скорее всего, эндогенное происхождение. Мари-

инским карьером № 3 вскрыто субвертикальное тело брекчий с глинистым цементом, имеющее инъекционные контакты. В пробе № 7245, взятой из цемента брекчий на глубине 30 м, сферулы составили 95% объема магнитной фракции. В глине из расположенной рядом пещеры Труда (№ 7244) они составляют 45% объема магнитной фракции. Состав сферул из пещеры и из карьера заметно отличен (табл. 3), речь не может идти об их переотложении; трудно представить случайную их концентрацию в глинистом материале на глубине 30 м.

Магнитная восприимчивость глинистых отложений всех изученных пещер стабильно повышена – порядка (0.5-1.0)×0.001 ед. СИ, в отдельных пещерах – до (2.5-3.0)×0.001 ед. СИ, а у известняков – (0.01-0.03)×0.001 ед. СИ. Она обусловлена, в основном, магнитными гидроксидами железа – образованиями вторичными, но предполагающими высокую концентрацию железа в исходном материале. Ранее исследователи пещер этот параметр не изучали.

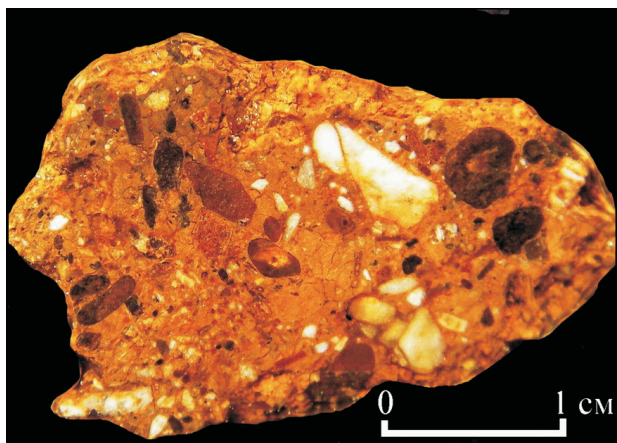
**Структурно-текстурные признаки.** По результатам изучения прозрачных шлифов, «глинистые отложения» различных пещер (из числа исследованных), различаясь в деталях, имеют много общего. Породы представляют собой брекчию с глинистым цементом, состоящую из обломков известняка, аргиллизитов, лимонита, выделений зонального халцедона и из цемента. Количество цемента невелико – от 25 до 40% объема породы.

Обломки аргиллизитов, составляющие от 3-10 до 70% объема породы, имеют угловатую, овально-угловатую форму, размеры 0.1-3.0 мм. Состоят в одних случаях из микрочешуйчатого агрегата хлорита (?) оранжево-красной окраски (шф. 7074), в других – из плотного глинистого материала красно-бурой, оранжево-красной окра-

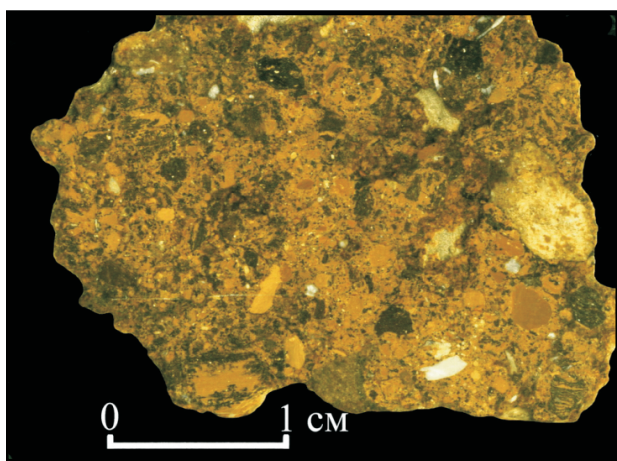
**Таблица 3.** Сравнение состава сферул из пещеры Труда (т.н. 7244) и из цемента агломератовых брекчий (т.н. 7245), мас. %

| № пробы | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | CaO  | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Сумма  |
|---------|------------------|------------------|--------------------------------|-------|--------------------------------|------|------|--------------------------------|--------|
| 7244-1  | 15.69            | 0.30             | 2.46                           | 52.66 | 29.58                          | 0.00 | 0.00 | 0.00                           | 100.68 |
| 7244-2  | 3.08             | 0.50             | 3.02                           | 38.02 | 51.62                          | 0.00 | 0.00 | 0.00                           | 96.25  |
| 7244-3  | 8.65             | 0.00             | 1.55                           | 42.72 | 46.54                          | 0.00 | 0.00 | 0.00                           | 99.46  |
| 7245-1  | 0.00             | 0.00             | 0.00                           | 29.06 | 66.29                          | 0.97 | 0.00 | 0.44                           | 96.76  |
| 7245-2  | 0.00             | 0.00             | 1.72                           | 28.67 | 62.80                          | 0.00 | 0.62 | 0.00                           | 93.81  |
| 7245-3  | 1.01             | 0.00             | 1.02                           | 32.53 | 65.41                          | 0.00 | 0.00 | 0.00                           | 99.97  |
| 7245-4  | 2.24             | 0.00             | 2.90                           | 34.75 | 60.81                          | 0.00 | 0.00 | 0.00                           | 100.70 |
| 7245-5  | 0.00             | 0.00             | 2.26                           | 30.42 | 64.08                          | 0.00 | 0.00 | 0.00                           | 96.75  |

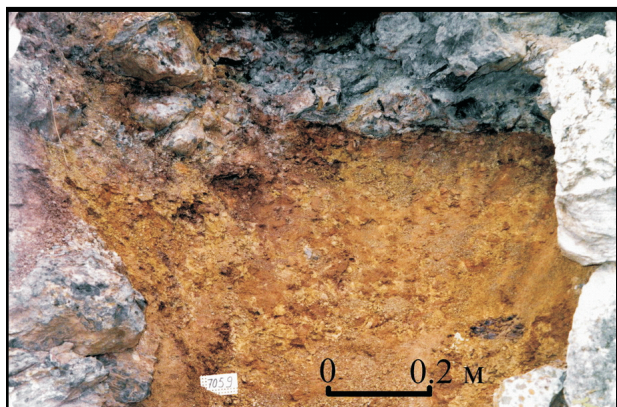
Анализы выполнены в ЗАО «РАЦ Механобр Инжиниринг Аналит» на аппаратуре CamScan-4, с детектором LINK-10000. Аналитик Ю.Л. Крецер.



**a**



**б**



**в**

**Рис. 6.** Грубозернистая текстура глинистого материала из отложений пещер. *a* – полированный образец 7074-6 из пещеры Усьвинская; *б* – полированный образец 7253-1 из пещеры Расик; *в* – коренной выход вскрытого Мариинским карьером № 5 гнезда глинистого материала, инъецирующего брекчированный известняк (т.н. 7059)

ски, изотропного или слабо анизотропного. Отдельные обломки имеют волокнистое строение, многие обломки представляют собой брекчию. Нередко форма округлых, трещиноватых обломков имеет структурное сходство (возможно, случайное) с зернами оливина, хромшпинелида, пластинками слюды.

Исследования полированных образцов и прозрачных шлифов из «глинистых отложений» пещер показали, что они являются не тонкозернистыми, отсортированными осадочными породами, а продуктами аргиллизации более крупнообломочных высокожелезистых пород брекчиевой текстуры. По микрофотографиям полированных образцов глины выявлено наличие теневых структур, фиксирующих контуры относительно крупных (до первых мм) обломков неустановленных железистых горных пород и отдельных кристаллов, сохраняющих нередко полигональные очертания (рис. 6*a*, 6*б*). Те и другие процессами аргиллизации превращены в железистую глину, причем нередко сохранилась зональность изменения. Общим признаком является наличие остроугольных обломков «глинистого материала», сцементированных также глиной; подобное сочетание не может возникнуть в результате водного отложения глинистого материала. Брекчиевая текстура отложений не позволяет считать их ни элювием карбонатных пород, ни переотложенными поверхностными отложениями. Пример брекчиевой текстуры глинистого заполнения вскрытой карьером полости приведен на рис. 6*в*.

Состав глинистых минералов определен в одной пробе – № 7244-1 из пещеры Труда (термический анализ): монтмориллонит – до 50%, кальцит + доломит – до 17%, каолинит + хлорит – до 10%, гетит – 10%, кварц – 5%, гиббсит – 5%, слюда – признаки. В других регионах, по данным предшественников (Вахрушев и др., 1999; Дублянский, Ломаев, 1980; Ляхницкий, Чуйко, 1999; Цыкин, 1985), в пещерных глинах также явно преобладает монтмориллонит, обычно образующийся (хотя есть и исключения) в результате гипергенных изменений магнезиально-железистых силикатов. В частности, Л. Берри с соавторами (1987, с. 457) утверждают, что «...монтмориллонит чаще всего образуется при изменении горизонтов вулканического пепла».

Химический состав отложений определен по одной пробе из пещеры Усьвинская (№ 7035):  $\text{SiO}_2$  – 57.78,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 12.90, Fe общ. – 6.11,  $\text{TiO}_2$  – 0.679, CaO – 6.84,  $\text{K}_2\text{O}$  – 1.29, MgO – 0.80, NaO – <1, MnO – 0.139,  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 0.09, ппп – 12.80,  $\Sigma = 99.45$ . Для сравнения, средний состав глинистых отложений двадцати крымских пещер (Дублянский, Ломаев, 1980) следующий:  $\text{SiO}_2$  – 52.24,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 16.43, FeO общ. – 6.75,  $\text{TiO}_2$  – 1.05,

CaO – 2.63, K<sub>2</sub>O – 1.33, MgO – 2.39, NaO – 0.47, MnO – 0.18, ппп – 16.03, Σ = 99.50.

Распространена точка зрения, что пещерные глины, если они не несут следов водного отложения, являются элювием карбонатных пород. Противоречие состоит в том, что полости чаще встречаются в чистых органогенных известняках – это отмечал Г.А. Максимович (1963), а заполнены они высокожелезистой грубозернистой глинизированной породой. Так, по данным разведки Губахинского месторождения известняка, отличающегося высокой (10.8%) закарстованностью (Синяев, Субботин, 1979), состав известняков на 97.66% представлен карбонатами: CaCO<sub>3</sub> – 95.76%, MgCO<sub>3</sub> – 1.90%, SiO<sub>2</sub> – 1.61%, R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0.35%; сумма = 99.62%. Эти сведения исключают возможность образования глинистых отложений полостей в пределах данного месторождения за счет высвобождения глины при растворении или выветривании известняков, тем более что 63% полостей, большей частью нескрытых, полностью заполнены глинистым материалом.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

При анализе материала мы столкнулись с целым рядом несоответствий полученных результатов с представлениями о водном механизме образования и заполнения полостей в карбонатных породах. Перечислим наиболее существенные.

1. Выявленные в пещерах и известняковых карьерах агломератовые брекчии с глинистым цементом не имеют текстурных признаков водного осаждения и являются продуктами аргиллизации высококалийных горных пород, состав которых отвечает щелочным базальтоидам или лампроитам.

2. Установлено активное взаимодействие цемента агломератовых брекчий с вмещающими известняками и с обломками (инъекции, заполнение трещин), но без признаков гидротермального процесса.

3. Наличие порфировых вкрапленников, внедрившихся вместе с цементом брекчий в известняк, свидетельствует в пользу магматогенного происхождения цемента агломератовых брекчий.

4. Особенности залегания глинистых отложений пещер, их текстурные признаки и высокая концентрация минералов тяжелой фракции в глинистом материале противоречат представлениям о водном механизме их формирования.

5. «Глинистые отложения» исследованных пещер являются продуктом аргиллизации брекчий, по текстурным признакам более на-

поминающих литокластические туфы, а по составу – щелочные базальты. Для них характерна стабильно повышенная магнитная восприимчивость.

6. Установлено сходство минерального состава глинистых отложений пещер и цемента агломератовых брекчий. Те и другие содержат минералы магматических и метаморфических пород, в некоторых случаях без признаков транспортировки. Наличие в тяжелой фракции отдельных проб высоких концентраций магнитных сферул и алюмоселадонита указывает на возможность магматогенного происхождения пород; их совместное нахождение указывает на то, что породы образовались «на месте».

Для большинства этих признаков можно найти более или менее правдоподобное объяснение, в каждом случае самостоятельное. Некоторые из них предшественники пытались объяснить факторами воздействия воды, другие вообще не обсуждались. Так, в литературе не встречалось упоминаний о существовании в пещерах секущих тел брекчий, содержащих зеленую глину или алюмоселадонит, развивающийся, как известно, по базальтоидам. Ранее не изготавливались шлифы из обычных для пещер залежей глинистого материала, априорно считавшихся отложениями мутьевых потоков, поэтому информация об их первично грубообломочной текстуре также является принципиально новой.

Необходимо отметить некоторые особенности морфологии пещер. Для образования встречающихся в исследованных пещерах шаровых камер и тупиковых ходов не соблюдается одно из важнейших условий возникновения карстовых полостей (Максимович, 1963) – наличие движущейся воды, способной растворять. Это относится и к горячим растворам, воздействию которых приписывают формирование шаровых камер (Дублянский, Дублянская, 2004). Отмечается также отсутствие видимой связи многих полостей с трещиноватостью известняков.

Эти и некоторые другие факты заставляют изменить подход к проблеме карстообразования. Попытка пересмотра устоявшихся представлений о процессе образования пещер в известняках была предпринята в ходе изучения условий формирования геологических объектов, казалось бы, весьма далеких от пещерной тематики – тел интрузивных пирокластитов щелочно-основного состава. В течение последних 15-20 лет на Западном Урале выявлены многочисленные тела аргиллизированных, преобразованных до глинов вулканогенных пород – интрузивных пирокластитов (туффизитов) щелочно-основного состава, миоценового возраста, совмещенных с промышленными россыпными месторождения-

ми алмазов (Лукьянова и др., 2000; Чайковский, 2001). По структурно-текстурным признакам, минеральному и химическому составу, по интенсивности гипергенных изменений, а также по характеру взаимодействия с карбонатными породами они сопоставимы с описанными агломератовыми брекчиями и с глинистыми отложениями пещер. Отмечена устойчивая приуроченность закарстованных участков к полям залегающих среди известняков туффизитов.

Обращает на себя внимание сходство химического состава глинистых отложений и цемента брекчий (табл. 2) с составом щелочных базальтоидов и алмазоносных туфогенных пород Красновишерского района Пермского края. Средние значения (в мас. %) по 46 пробам песчаных туфов и туффизитов с участков Южная Рассольная и Волянка, по данным (Лукьянова и др., 2000; Чумаков, 2008) следующие:  $\text{SiO}_2$  – 57.07;  $\text{TiO}_2$  – 0.93;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 15.44;  $\text{FeO}$  – 2.43;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 5.45;  $\text{MnO}$  – 0.11;  $\text{MgO}$  – 2.06;  $\text{CaO}$  – 3.13;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 0.43;  $\text{K}_2\text{O}$  – 3.50;  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 0.20; ппп – 6.72.

Имеющиеся материалы позволяют предполагать, что полости в карбонатных породах содержат продукты гипергенного изменения флюидизированных магматических пород щелочно-основного состава. Для этих пород характерна высокая скорость процессов выветривания, поэтому шансы обнаружения в пещерах неизмененных магматических пород равны нулю.

Возникает вопрос, каким образом сходный по составу туфогенный материал мог целенаправленно попадать в разрозненные пещеры и в камеры, не имеющие выхода на поверхность?

#### ГИПОТЕЗА ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛОСТЕЙ В КАРБОНАТНЫХ ПОРОДАХ

Идея магматогенного происхождения полостей в карбонатных породах возникла из решения чисто теоретической задачи: что произойдет, если в близповерхностных условиях в известняки внедрится магма основного состава, имеющая температуру заведомо выше  $1000^\circ\text{C}$ ?

В природе широко распространены застывшие в известняках тела базальтов, долеритов, габбро, лампроитов и некоторых других магматических пород. Кристаллизовались они, без сомнения, на некоторой глубине и впоследствии были выведены процессами эрозии на поверхность. Эти тела сопровождаются выраженными экзоконтактовыми изменениями известняков. В близповерхностных условиях низкого давления все должно выглядеть, вероятно, совершенно иначе.

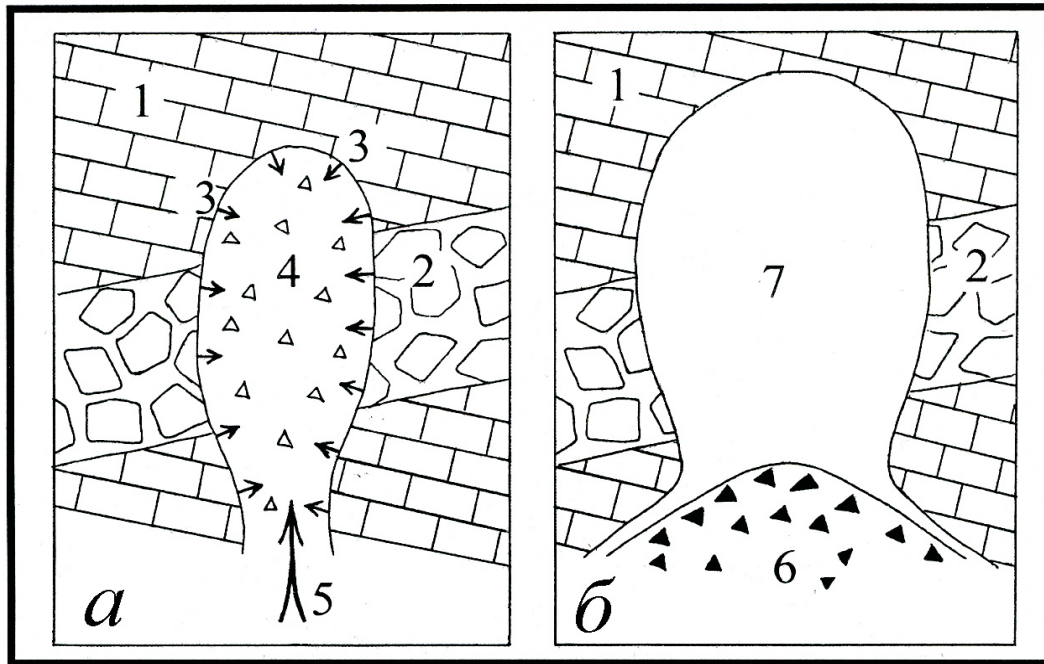
Как известно, термическая диссоциация карбоната кальция в условиях нормального

атмосферного давления происходит при температуре  $825-912^\circ\text{C}$  (доломита – при  $550-770^\circ\text{C}$ ); при температуре  $1290^\circ\text{C}$  и давлении 170 атмосфер происходит плавление кальцита (Лучицкий, 1947).

Процесс термического разложения карбоната кальция широко применяется в промышленности, например, для получения оксида кальция при обжиге известняка. Расчеты (Ходаков и др., 1977) показывают, что при термическом разложении 100 г кальцита образуется 56 г  $\text{CaO}$  и 44 г  $\text{CO}_2$  (– 37.94 ккал.). В пересчете на более осязаемые величины: из 1 тонны кальцита выделяется 440 кг углекислого газа, занимающего при атмосферном давлении, согласно закону Авогадро, объем  $225 \text{ м}^3$ , и 560 кг оксида кальция. Из  $1 \text{ м}^3$  карбоната кальция выделится, соответственно,  $610 \text{ м}^3 \text{ CO}_2$ .

Исходя из термодинамических условий существования карбоната кальция, выдвинута гипотеза магматогенного происхождения полостей в карбонатных породах (Смирнов, Разумова, 2004). Согласно ей, любая магма, имеющая температуру выше девятисот градусов, контактируя с известняками в близповерхностных условиях, должна вызывать термическую диссоциацию карбоната кальция, сопровождающуюся выделением огромных объемов углекислоты, и формировать в известняках полости сложной конфигурации, заполненные породами флюидизатного генезиса. После прекращения выделения углекислоты застывшие обломки распыленной лавы и карбонатных пород оседают на дно выработанных в карбонатах камер; в верхних частях камер образуются полости, которые принято называть карстовыми пещерами. Экзогенными процессами продукты реакции (туффизиты) превращаются в обогащенную железом глину.

Мгновенный нагрев выше  $1000^\circ\text{C}$  тонкого слоя известняков на контактах с магмой или с раскаленным газом предполагает его разрушение и выделение углекислого газа в условиях относительно низкого давления. Внедряющаяся магма должна вскипеть под действием больших объемов углекислого газа, поток которого направлен от стенок заполненной ею трещины к центру. Магма вскипает и перестает быть собственно магмой; образуется так называемый «магматогенный флюидизат» (Голубева, Махлаев, 2005). Область разложения известняка должна смещаться от первоначального контакта внедряющегося тела вглубь карбонатного массива. Ширина трещины растет, и, повторяя конфигурацию теплового фронта, трансформируется в полость большего размера (рис. 7). Необходимым условием диссоциации карбонатов является открытость системы (выход каналов на поверхность): для сохранения относительно



**Рис. 7.** Гипотетическая схема формирования камеры в известняках (*а*) и окончательная форма камеры (*б*). 1 – известняки; 2 – брекчии с глинистым цементом; 3 – истечение CO<sub>2</sub> при диссоциации карбоната кальция; 4 – газовой-твердая или газовой-жидкая суспензия с температурой выше 1000°C; 5 – направление притока магмы; 6 – отложения продуктов реакции; 7 – сформировавшаяся полость.

низкого давления продукты реакции должны выбрасываться на поверхность; это условие переводит процесс в разряд вулканических.

Предполагается, что температура внутренней поверхности полости, образующейся в результате «горячей продувки», одинакова и известняк разлагается с одной и той же скоростью. Именно очертаниями теплового фронта можно объяснить плавные, нередко шаровидные и трубообразные формы полостей в известняках. Если в них после вскрытия эрозией попадет вода, дальнейшее развитие пойдет по классической схеме: вынос образовавшейся в гипергенных условиях глины и водное растворение стен.

Известняк на контакте с раскаленным газом в принципе не может нагреться выше температуры его диссоциации, поэтому выраженных следов воздействия магмы на стенах пещер нет. Газы же претерпевают дополнительный разогрев новыми порциями магмы.

На схематическом разрезе (рис. 7б) показаны типичные для пещер особенности: конусовидное залегание продуктов реакции (естественное для оседания газопылевой смеси) и характерное расширение галереи непосредственно над залежью глинистого материала, объяснить которое динамикой водного потока сложно (оно, в принципе, может возникнуть над залежью осевшей раскаленной пирокластике в последнюю фазу формирования полости).

Гипотеза также объясняет довольно рас-

пространенную ситуацию, труднообъяснимую в случае водного формирования подземных галерей. Если бы галереи создавались водными потоками, то обнажающиеся в их стенах брекчии с глинистым цементом (породы заведомо менее прочные, чем известняки) претерпевали бы избирательный размыв. Но этого не наблюдается. Более того, отмечены случаи, когда сцементированные глинистым материалом обломки известняков были отпрепарированы в одной плоскости со стенами пещер, сложенными вмещающими монолитными известняками (рис. 7б). Представляется возможным единственный вариант: известняки, слагающие стены полостей, и известняки, слагающие обломки в составе секущих их брекчий, разлагались при одной температуре.

Судить о масштабах выделения углекислого газа при контакте магмы с известняками можно по описанию Г. Макдоналда (1975, с. 52): «Подсчитано, что во время крупного извержения Везувия в 1906 году вес газа, который вырывался в течение многих часов, превысил вес излившейся лавы. ... Углекислый газ также может частично или целиком образоваться при прокаливании известняков магматическим теплом». Несомненно, в известняках возникали полости, частично заполненные флюидизированной магмой.

## ВЫВОДЫ

1. В пещерах на территории Пермского края выявлены агломератовые брекчии с глинистым цементом, являющиеся в современном состоянии продуктом гипергенного изменения внедрившихся в известняки высококальциевых магматогенных образований. Состав цемента сопоставим с составом туфогенных пород Красновишерского района Пермского края и отвечает щелочным базальтоидам. Крайне высокая степень вторичных изменений не позволяет провести более точную диагностику.

2. Установлена первично грубозернистая текстура глинистых отложений пещер; форма их залегания не отвечает динамике водного потока.

3. На основании ряда косвенных признаков высказано предположение, что не только агломератовые брекчии, но и т.н. «глинистые отложения» пещер могут иметь магматогенное происхождение.

4. Выдвинута гипотеза, предусматривающая принципиально новый, магматогенный механизм формирования полостей в карбонатных породах. Она позволяет объяснить особенности залегания, химического и минерального состава, структурно-текстурные особенности исследуемых пород единым фактором – процессом внедрения магматогенного материала в карбонатные породы. Теоретическая возможность происходящей при этом термической диссоциации карбоната кальция вытекает из его термодинамических свойств: карбонат в условиях низкого давления не может не разлагаться на контакте с высокотемпературной магмой, а магма при этом не может не распыляться газом.

Автор предлагает рассматривать гипотезу в качестве лишь одного из вариантов формирования пещер. Она проливает свет на ряд труднообъяснимых (с гидрогеологических позиций) особенностей морфологии пещер: существование гигантских залов, шаровидных полостей, червеобразных тупиковых ходов, в которых невозможна циркуляция воды, а также отсутствие видимой связи многих полостей с зонами трещиноватости. Гипотеза ни в коей мере не ставит под сомнение классическую теорию формирования карста под действием слабых растворов угольной кислоты (Максимович, 1963); речь идет лишь о создании первичных каналов, которые впоследствии чаще всего становятся путями миграции подземных вод.

Проведенные исследования могут иметь далеко идущие последствия в плане совершенствования методики поисков и разведки полезных ископаемых. Так, создание альтернативной гипотезы образования пещерных полостей

должно повлечь за собой пересмотр перспективности рудных месторождений карстового типа, изменить методику поиска коренных месторождений алмазов уральского типа и скорректировать методику инженерно-геологических изысканий.

## Список литературы

- Берри Л., Мейсон Б., Дитрих Р.* Минералогия. М.: Мир, 1987. 591 с.
- Вахрушев Б.А., Амеличев Г.Н., Семенова Е.Н.* Мраморная пещера // Пещеры. Межвузовский сб. научных трудов. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1999. С. 44.
- Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР / Под ред. Скробова С.А. Т.4. М.: Недра, 1967. 476 с.
- Голубева И.И., Махлаев Л.В.* Конгломераты и магматогенные псевдоконгломераты. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 178 с.
- Дублянский В.Н., Дублянская Г.Н.* Карстование. Ч. 1. Общее карстование. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2004. 306 с.
- Дублянский В.Н., Ломаев А.А.* Карстовые пещеры Украины. Киев: Наукова думка, 1980. 180 с.
- Лукьянова Л.И., Жуков В.В., Кириллов В.А. и др.* Субвулканические эксплозивные породы Урала – возможные коренные источники алмазных россыпей // Региональная геология и металлогения. 2000. № 12. С. 134-157.
- Лучицкий В.И.* Петрография. Т. 1. М.: Гос. изд-во геологической литературы министерства геологии СССР, 1947. 256 с.
- Ляхницкий Ю.С., Чуйко М.А.* Комплексные исследования Каповой пещеры // Пещеры. Межвузовский сб. научных трудов. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1999. С. 33.
- Макдоналд Г.* Вулканы. М.: Мир, 1975. 432 с.
- Максимович Г.А.* Основы карстования. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1963. 444 с.
- Смирнов В.А., Разумова Н.П.* О взаимодействии магмы с карбонатными породами // Пещеры. Межвузовский сб. научных трудов. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2004. С. 94-109.
- Ходаков Ю.В., Эпштейн Д.А., Глориозов П.А.* Неорганическая химия. М.: Просвещение, 1977. 340 с.
- Цыкин Р.А.* Отложения и полезные ископаемые карста. Новосибирск: Наука, 1985. 165 с.
- Чайковский И.И.* Петрология и минералогия интрузивных алмазоносных пирокластитов Вишерского Урала. Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 2001. 323 с.
- Чумаков А.М.* Особенность состава и процессов образования гидрослюдистых туффитов в Красновишерском районе // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2008. С. 77-81.

СМИРНОВ  
**CLAY FORMATIONS IN THE CARBONATE CAVES OF URALS**

**V.A. SMIRNOV**

*Perm State University, Perm, 614990; e-mail: permhome@mail.ru*

The article summarizes the research results of certain Western Ural caves. The author studied the bodies of agglomerative breccias with the clay cement in the limestone and the clay deposits of the caves. The study revealed the injection relations between breccias cement and limestone and showed cement of breccias and clay deposits of the caves to be argillizations of coarse-grained silicate rocks without the traces of stratification. The compositions of both those rocks and the alkaline-basic magmatic rocks are similar to each other. The author hypothesizes that there may be a shaping of some types of cavities in the carbonate rocks. The cavities shaping may be caused by thermal dissociation of calcium carbonate accompanied by the intrusion of high-temperature magma.

*Keywords: Perm region, caves, breccias, pyroclastites, mineralogy, injection, argillizations.*