



**Е.П. Базарова, С.Е. Мазина, Е.В. Ходырева**

## **Минералогические исследования в пещерной системе Снежная-Меженного-Иллюзия (Западный Кавказ, Бзыбский хребет): предварительные результаты и направления дальнейших работ**

Базарова Е.П., Мазина С.Е., Ходырева Е.В. Минералогические исследования в пещерной системе Снежная-Меженного-Иллюзия (Западный Кавказ, Бзыбский хребет): предварительные результаты и направления дальнейших работ // Спелеология и карстология - № 10. – Симферополь. – 2013. - С. 76-85.

**Резюме:** В статье приводятся сведения о минеральном составе водных хемогенных и водных механических отложений в пещерной системе Снежная-Меженного-Иллюзия. В состав водных хемогенных отложений входят Mg- и Sr-содержащий кальцит, арагонит, гипс, гидромагнезит, целестин, стронцианит, доломит, гетит, рутил и циркон. Водные механические отложения сложены преимущественно доломитом, кварцем и кальцитом. В схожих по морфологии и микроклимату частях пещерной системы наблюдаются одинаковые вторичные минералы.

**Ключевые слова:** минералы; спелеотемы; пещерная система Снежная-Меженного-Иллюзия; Западный Кавказ.

Базарова Е.П., Мазина С.Е., Ходырева Е.В. Минералогічні дослідження в печерній системі Сніжна-Меженого-Ілюзія (Західний Кавказ, Бзыбський хребет): попередні результати та напрямки подальших робіт // Спелеология і карстология - № 10. - Сімферополь. - 2013. - С. 76-85.

**Резюме:** У статті наводяться відомості про мінеральний склад водних хемогенних і водних механічних відкладень в печерній системі Сніжна-Меженого-Ілюзія. До складу водних хемогенних відкладень входять кальцит, який містить Mg і Sr, арагоніт, гіпс, гідроманезит, целестин, стронціаніт, доломіт, гетит, рутил і циркон. Водні механічні відкладення складені переважно доломітом, кварцом і кальцитом. У схожих за морфологією та мікрокліматом частинах печерної системи спостерігаються однакові вторинні мінерали.

**Ключові слова:** мінерали; спелеотемі; печерна система Сніжна-Меженого-Ілюзія; Західний Кавказ.

Bazarova E.P., Mazina S.E., Hodyreva E.V. Mineralogical researches at Snezhnaya-Mezhennogo-Illuzia cave system (Bzibskiy ridge, Western Caucasus): preliminary results and directions for future researches // Speleology and Karstology - № 10. – Simferopol. – 2013. - P. 76-85.

**Abstract:** The article presents the preliminary characteristic of the mineral composition of chemogenic formations and clastic deposits of Snezhnaya-Mezhennogo-Illuzia cave system. Chemogenic formations are composed by Mg- and Sr-calcite, aragonite, gypsum and hydromagnesite, celestite, strontianite, dolomite, goethite, rutile and zircon. Clastic sediments are composed mainly by dolomite, quartz and calcite. Same secondary minerals are observed in those parts of the cave system that have similar morphology and microclimate.

**Key words:** cave minerals; speleothems; Snezhnaya-Mezhennogo-Illuzia cave system; Western Caucasus.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Подробный обзор вторичных минеральных отложений (speleothems) и минералов пещер дан в работе К. Хилл и П. Форти (Hill, Forti, 1997), где пещерный минерал определяется как однородная твердая субстанция, имеющая определенный химический состав и упорядоченное атомное строение, естественным образом встречающаяся в пещере. Пещерные минералы слагают минеральные

образования – спелеотемы, которые могут быть мономинеральными или полиминеральными. Так как формирование большинства спелеотем связано с водой, которая может течь, капать, двигаться тонкими пленками и т.д. (Hill, Forti, 1997), то в отечественной литературе данному термину, по всей видимости, соответствует термин «водные хемогенные отложения», приведенный в классификации отложений карстовых полостей Д.С. Соколова и Г.А. Максимовича (Максимович, 1963). Большую роль в пещерном минералообразовании играют микроорганизмы, которые способны значительно изменять окружающую среду или непосредственно принимать участие в процессах осаждения и растворения (Northup, Lavoie, 2001).

Изучение минералов пещер в совокупности с особенностями геологии и микроклимата полостей,

© Базарова Е.П.<sup>1\*</sup>, Мазина С.Е.<sup>2</sup>, Ходырева Е.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт земной коры СО РАН, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва

<sup>3</sup> Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ

\* Кoresпoндyючий aвтop. E-mail: bazarova@crust.irk.ru

в которых они сформировались, позволяет не только увеличить список известных минералов, классифицировать вторичные отложения, но и предполагать их генезис в различных физико-химических условиях. Геоминералогические исследования также важны для понимания картины эволюции карстовых полостей.

Как показано в работе Б.А. Вахрушева с соавторами (Вахрушев и др., 2001), вторичные минеральные отложения карстовых полостей Бзыбского массива изучены слабо и нуждаются в специальном исследовании с использованием современных методик. Пещерная система Снежная-Меженного-Иллюзия является крупнейшей карстовой полостью Бзыбского массива. Минералы данной пещерной системы изучались в семидесятых – восьмидесятых годах двадцатого века только на участке пещеры Снежной (Людковский и др., 1981; Мавлюдов, Морозов, 1984) и не дают представления о вторичных минеральных отложениях в ее верхних частях – пещере имени С. Меженного и пещере Иллюзия.

В данной работе приводятся сведения о минеральном и химическом составе вмещающих пород и вторичных минеральных отложений на отдельных участках всех трех пещер системы на разных глубинах от поверхности, дается описание спелеотем, рассматриваются гипотезы о возможных механизмах их формирования и связь минералообразования с гидрологическими и микроклиматическими условиями.

Определение минерального состава осуществлялось в г. Иркутске в аналитическом центре Института земной коры СО РАН методами термического анализа аналитиком Н.В. Нартовой на дериватографе Q-1500D, рентгенофазового анализа аналитиком З.Ф. Ушаповской на дифрактометре ДРОН-3 на  $\text{CuK}\alpha$ -излучении и полуквантитативного рентгеноструктурного анализа на дифрактометре ДРОН-3 на  $\text{CuK}\alpha$ -излучении аналитиком Т.С. Филевой. Химический состав вмещающих пород и водных хемогенных отложений определялся методом силикатного анализа аналитиком М.М. Самойленко.

Анализы некоторых минералов также были выполнены в Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН в г. Новосибирске аналитиком Н.С. Кармановым на электронном сканирующем микроскопе MIRA 3 LMU (TESKAN Ltd), оборудованном энергодисперсионным спектрометром INCAEnergy 350 (Oxford Instruments Analytical Ltd), и в Геологическом институте СО РАН в г. Улан-Удэ аналитиком Е.В. Ходыревой на электронном сканирующем микроскопе LEO-1430VP (Carl Zeiss International) с энергодисперсионным анализатором INCAEnergy 350 (Oxford Instruments Analytical Ltd). Условия анализа: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда 0.3–0.4 нА, размер зонда <0.1 мкм, время измерения 50 сек.

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПЕЩЕРНОЙ СИСТЕМЕ СНЕЖНАЯ-МЕЖЕННОГО-ИЛЛЮЗИЯ

Пещерная система расположена в Хипстинском карстовом массиве, который является составной

частью южного склона Бзыбского хребта и его южного отрога – хребта Раздельного. Наивысшими точками массива являются г. Хипста (2495 м), г. Акугра (2511 м) и г. Турецкая Шапка (Ахибох, 2515 м). Массив находится в горно-лесном (до высоты 1700-1800 м) и горно-луговом почвенно-растительном поясе. В геологическом отношении Хипстинский массив сложен известняками, доломитами и доломитовой брекчией с прослоями мергелей, песчаников и глин юрского, мелового и палеоценового возраста (Букия и др., 1977). Суммарная мощность непрерывной карстующейся толщи на южном склоне хребта Раздельного превышает 1200 м (Вахрушев и др., 2001; Людковский и др., 1981).

Планомерное спелеологическое исследование района началось в 1971 г. (Галактионов и др., 1974; Зверев, 1975). Большинство известных карстовых полостей Хипстинского массива расположено в пригребневой части хребта Раздельного и на его южном склоне. Пещерная система Снежная-Меженного-Иллюзия была открыта в 1971 г. (собственно шахта Снежная) спелеологами Московского государственного университета. История исследования пещерной системы подробно описана в работах (Мавлюдов, Морозов, 1984; Мавлюдов, Усиков, 1979; Демченко, 2013; Шелепин, 2013).

В настоящее время известны три входа в систему: через шахты-поноры Иллюзия, имени С. Меженного и Снежная, входы в которые расположены на высоте 2389, 2015 и 1971 м над уровнем моря соответственно. Существуют различные взгляды относительно геологических условий заложения данной пещерной системы. Г.В. Людковский и Б.Р. Мавлюдов с соавторами (Людковский и др., 1981; Мавлюдов, Морозов, 1984) считают, что верхняя ее часть заложена в массивных и толстослоистых известняках баррема, а нижняя – в намывных брекчиях валанжинского и готеривского ярусов. Согласно работе Б.А. Вахрушева с соавторами (Вахрушев и др., 2001), верхняя часть системы Снежной заложена в чистых толстослоистых, местами – брекчиевидных и конгломератовидных известняках и продуктах их разрушения в зонах дробления, а нижняя часть системы использует в основном трещины напластования в толще слоистых известняков, местами переходящих в доломитовую брекчию.

Были взяты образцы вмещающих пород в Сахалинской галерее п. Меженного и в залах Дольмена и Гремячий п. Снежной. По результатам термического анализа, все образцы сложены преимущественно доломитом, содержание которого изменяется от 75 до 95%. В виде примесей наблюдается глинистое вещество и, возможно, полевые шпаты.

Химический состав вмещающих пород приведен в таблице 1 и соответствует доломитам и кремнистым доломитам (Швецов, 1958).

В шлифах образцы вмещающих пород из п. Меженного сложены мелкими (до 0.01 мм) зернами доломита и относительно крупными (до 0.1 мм) зернами кварца разной степени окатанности. Встречаются выделения окислов железа и отдельные зерна кальцита размером до 0.03 мм. В образцах

**Таблица 1**

Химический состав вмещающих пород и вторичных минеральных образований п. Снежная-Меженного-Иллюзия (вес.%)

Компо- ненты	№ образца							
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	16.58	15.72	2.18	1.27	18.95	<нпо	<нпо	3.99
TiO <sub>2</sub>	0.18	0.17	0.03	<нпо	0.22	<нпо	<нпо	0.07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.99	3.6	0.83	0.57	4.09	<нпо	<нпо	1.25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.9	1.74	0.45	0.64	1.88	<нпо	<нпо	0.64
FeO	0.61	0.51	0.12	0.27	0.7	<нпо	<нпо	0.09
MnO	0.04	0.03	0.04	0.1	0.04	<нпо	<нпо	0.03
MgO	16.67	11.93	18.43	18.39	15.39	0.74	<нпо	4.78
CaO	22.55	27.85	32.2	32.42	22.52	55.19	55.27	46.78
Na <sub>2</sub> O	0.1	0.08	0.06	0.03	0.08	0.04	0.07	0.04
K <sub>2</sub> O	1.73	2.08	0.44	0.28	2.11	0.03	0.01	0.43
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.04	0.03	0.03	<нпо	0.05	<нпо	<нпо	0.03
Ппп	2.99	2.27	0.86	14.27	15.29	1.21	1.95	1.51
CO <sub>2</sub>	32.12	33.61	44.08	31.38	18.01	42.41	42.08	39.99
Сумма	100.08	100.02	99.82	99.95	99.89	100.26	100.06	99.88

Вмещающие породы: 1 – 2 – из п. Меженного (Сахалинская галерея), 3 – 5 – п. Снежная (зал Дольмена (3), Гремячий зал (4 – 5)); водные хемогенные образования: 6 – 7 – из п. Меженного (Сахалинская галерея), 8 – п. Снежная (Гремячий зал)

наблюдается сильная примесь пелитового вещества, придающая породе темно-серый цвет. Тип цементации базальный (более крупные зерна кварца погружены в массу мелкозернистого доломита), в отдельных случаях видна четкая микрослоистость (толщина слоиков 1 – 2 мм). Образцы представляют собой обломки доломитовой брекчии.

Образец породы из зала Дольмена представлен массивным доломитом с небольшой примесью пелитового вещества и кварцевых зерен. Зерна доломита имеют размеры 0.05 – 0.2 мм, зерна кварца – до 0.5 мм. Для кварцевых зерен характерна окатанность. Зерна доломита по большей части являются хорошо образованными ромбоэдрами. В образце наблюдаются микростилолиты, указывающие на то, что породы подвергались сдавливанию. Общей ориентировки частиц, слагающих породу, не наблюдается, поэтому текстуру породы можно считать беспорядочной в соответствии с описанием текстур осадочных пород М.С. Швецова (Швецов, 1958).

Доломиты из Гремячего зала отличаются от доломитов из зала Дольмена меньшим размером зерен (до 0.05 мм) и большей примесью пелитового вещества. Доломиты визуально массивные, для них характерно присутствие окатанных зерен кварца размером до 0.8 мм и отдельных зерен кальцита (до 0.3 мм). Может наблюдаться микрослоистость. Тип цементации базальный (зерна кварца погружены в массу зерен доломита) и смешанный (базальный и сопрякосновения).

Сахалинская галерея в п. Меженного находится примерно на той же глубине, на которой берет начало подземная река Снежной. Таким образом, можно видеть единообразие вмещающих пород для горизонтальной части системы и их в целом доломитовый состав.

Пещеры Иллюзия, Меженного и Снежная в верхних частях представляют собой серии вертикальных колодцев, соединенных небольшими горизонтальными проходами или залами. Глубина вертикальных частей пещер составляет 670 м (Иллюзия), 500 м (Меженного) и 550 м (Снежная). Нижняя – субгоризонтальная часть системы принадлежит, по классификации (Тинтилозов, 1976), к пещерам древовидного типа и представляет из себя систему соединенных небольшими уступами каньонообразных галерей и меандров, перекрытых многочисленными глыбовыми завалами (Вахрушев и др., 2001; Коротаев и др., 1982; Людковский и др., 1981). В горизонтальной части системы расположены обвальные залы, образование которых связано с тектоническими нарушениями: зал Икс (длина 220 м, ширина 70 м, высота 50 м) (Мавлюдов, Морозов, 1984), зал Трουνхелл (длина 308 м, ширина 109 м, высота 40 м) (Дягтерев, 2009) и другие. По опубликованным данным, протяженность пещерной системы Снежная-Меженного-Иллюзия составляет 27078 м при амплитуде 1753 м (Литвинов, 2011). Данная система является третьей по глубине пещерой мира и самой длинной карстовой полостью Кавказа.

#### ОСНОВНЫЕ МИНЕРАЛЫ ПЕЩЕРНОЙ СИСТЕМЫ И СЛАГАЕМЫЕ ИМИ СПЕЛЕОТЕМЫ

*Кальцит* CaCO<sub>3</sub> является наиболее распространенным минералом как на участке п. Снежной (Людковский и др., 1981; Мавлюдов, Морозов, 1984), так и в верхних частях системы, и слагает агрегаты гравитационных, субаквальных, кораллитовых кор по классификации Степанова - Мальцева (Степанов, 1971; Мальцев, 1993). Химический состав кальцита, слагающего сталактиты и натечную кору, приведен в таблице 1. При сравнении состава вмещающих пород и вторичного кальцита



Рис. 1. Кальцит-арагонитовые кристаллиты (иногда с высыпками гидромагнетита на концах «ветвей») (п. Меженного).



Рис. 2. Сталактит с арагонитовыми кристаллитами (п. Меженного).



Рис. 3. Гипсовые антолиты (п. Иллюзия).

можно видеть, что при образовании данных отложений происходил вынос практически всех петрогенных окислов за исключением  $\text{CaO}$  и  $\text{CO}_2$ .

Находки *арагонита*  $\text{CaCO}_3$  были ранее описаны для п. Снежной (Людковский и др., 1981; Мавлюдов, Морозов, 1984), также арагонит был обнаружен в п. Меженного на участке Сахалинская галерея в составе трехминеральных образований (рис.1), подобных образованиям, наблюдаемым на разных участках п. Снежной, которые были названы «каменный иней» (Мавлюдов, Усиков, 1979) и мультикораллитами (Мальцев, 1997), а также в составе игольчатых обрастаний на сталактитах (рис. 2). В некоторых случаях арагонитовые обрастания в п. Меженного имеют вид дендритов длиной до нескольких сантиметров. Все описанные арагонитовые образования могут быть отнесены к агрегатам кораллитовых кор.

*Гипс*  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  является распространенным минералом для данной пещерной системы. В п. Иллюзия данный минерал встречается в составе антолитовых кор (гипсовых цветов) (рис. 3), прозрачных обрастаний на стенах хода толщиной до 5 мм, и

пещерной пудры (термин введен К.Хилл и П.Форти (Hill, Forti, 1997), скопление которой (рис. 4) площадью до  $1 \text{ м}^2$  отмечается на глубине  $-700 \text{ м}$  на дне сухого хода под кораллитами, покрытыми целестиновыми обрастаниями. Цвет пудры снежно-белый, в верхней части желтоватый и светло-коричневый за счет глинистой примеси. Пудра имеет гипсовый (90%) с примесью кальцита (10%) состав и представляет собой скопление несвязанных зерен размером около  $0,1 \text{ мм}$  и менее.



Рис. 4. Скопление кальцит-гипсового порошка (п. Иллюзия).

В п. Меженного гипс наблюдается в виде небольших антолитов и бесцветных кор (рис. 5). Также в Сахалинской галерее были обнаружены небольшие участки распространения мелкокристаллического гипса с примесью (5%) кальцита на глыбах вмещающих пород. Мощность слоя порошка до 1 мм, площадь до 20 см. Размер частиц до 1 мм (на порядок крупнее частиц пещерной пудры такого же состава в п. Иллюзия), под бинокулярным микроскопом видны отдельные обломки в виде «лепестков» антолитов.

В п. Снежной гипс слагает агрегаты антолитовых кор, которые отмечаются на поверхности глыбовых завалов ниже 600 м и на стенах залов над ними (Вахрушев и др., 2001), нами гипсовые цветы и небольшие коры наблюдались на глыбах в зале Дольмена. Гипсовые корки до 2-3 мм толщины находятся на Глиняном завале, а гипсовые цветы небольших размеров – на стенах многих притоков подземной реки (ручьи Новый, Водопадный и др.) (Мавлюдов, Морозов, 1984).

Гидромагнезит  $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$  в п. Меженного слагает белые, иногда бледно-желтые округлые, частично затвердевшие, иногда



Рис. 5. Гипсовые коры поверх кальцитовых сталактитов (п. Меженного).

с перламутровым блеском высыпки, сходных с кораллитами или конкрециями, подобными тем, что были обнаружены в п. Снежной (Мавлюдов, Морозов, 1984), шириной 3 – 5 мм на остриях арагонитовых игл, растущих из кальцитового кораллита – основания (рис. 6). Под бинокулярным микроскопом можно видеть скорлуповатое строение таких конкреций, выражающееся в нарастании минеральных слоев друг на друга. По рентгенофазовому анализу, данные высыпки сложены гидромагнезитом и арагонитом со следами талька.

В п. Снежной отложения гидромагнезита обнаружены в Цветочном ходе на глубине -650 м (Мавлюдов, Морозов, 1984). Гидромагнезит входит в состав кальцит-арAGONит-гидромагнезитовых агрегатов (кристалликтитов) в этой части пещеры. Подобные кристалликтиты развиваются не только на стенах хода, но и на сталактитах, образуя четко ориентированные обрастания высотой до 10 см (рис. 7). Небольшие



Рис. 6. Гидромагнезитовые высыпки на концах кальцит-арAGONитовых кристалликтитов (п. Меженного).



Рис. 7. Кристалликтиты с гидромагнезитовыми высыпками на сталактитах (п. Снежная).

(до нескольких сантиметров) кальцит-арагонитовые кристаллиты с гидромагнезитовыми высыпками наблюдались нами в зале Дольмена.

Целестин  $SrSO_4$  был обнаружен в п. Иллюзия на глубине -700 м в составе серовато-голубых мелкокристаллических обрастаний на кальцитовых кораллитах. Размер отдельных кристаллов целестина до 1 мм, общая площадь распространения таких обрастаний составляет около 20 см. Обрастания покрывают кораллиты, расположенные в верхней части сухого хода. Помимо того, целестин был обнаружен в центральной части кораллита в виде востков неправильной формы размером до 10 мкм.

## МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ АНСАМБЛИ

Для рассмотрения закономерностей минералообразования в пещере ниже сделана попытка выделить минералогические ансамбли на примере ансамблей, показанных в работе В.А. Мальцева (Мальцев, 1993), под которыми здесь понимаются группы минералов, совместно образовавшихся во время одного цикла кристаллизации (от стадии формирования субкавальных кор, для которой требуется частичная обводненность пещеры, и до стадии обрушения, соответствующей высыханию пещеры).

Наиболее распространенным для рассматриваемой пещерной системы является *кальцитовый ансамбль*, обычно представленный агрегатами гравитационных кор. Данный ансамбль образуется в местах с активным притоком воды, в том числе на нижних этажах в местах выше уровня подъема паводковых вод реки.

Вторым по распространенности следует считать *кальцит-арагонит-гидромагнезитовый ансамбль*, распространенный исключительно в верхних сухих этажах пещеры вдали от мощных водотоков, на участках с интенсивным движением воздуха. Б.Р. Мавлюдов и Д.А. Усиков (Мавлюдов, Усиков, 1979) предлагают гипотезу образования подобных отложений за счет кристаллизации из пленок воды, разбрызгиваемых при падении капель со сводов пещеры, а направление роста связывают с потоками воздуха – дерева и кусты изгибаются в сторону разбрызгивающихся капель и навстречу ветру. Известно, что в пещерной системе Снежной, как и во многих пещерах, происходит сезонная смена направления воздушного потока. В 2010 г. это явление было зафиксировано в конце декабря и совпало со снегопадом на поверхности, перекрывшим нижние входы в систему. В зимний период воздух выходит из пещеры. В связи с интенсивным водным потоком в пещере – мощной подземной рекой - на многих участках движение воздуха интенсивное. Зимой, когда отсутствуют паводки и снижается расход воды в реке, интенсивность воздушных потоков уменьшается, что продолжается с декабря по март. Возможно, что формирование кальцит-арагонит-гидромагнезитовых образований происходило именно в этот период. Данные агрегаты принимали направление воздушного потока, идущего зимой, однако исследователи описывали эти отложения преимущественно в летний

период, поэтому могло сформироваться ошибочное мнение, что дерева и кусты принимали направление роста против ветра.

В.А. Мальцевым (Мальцев, 1993, 1997) описан подобный кальцит-арагонит-гидромагнезитовый ансамбль для пещеры Кап-Кутан и указано, что формирование таких образований связано с увеличением концентрации ионов магния в питающем растворе, движущемся тонкими пленками под действием капиллярных сил. Данная гипотеза объясняет возникновение подобных образований на вертикальных стенах ходов и сталактитах. Концентрации магния в растворе, вызывающей формирование мощных отложений гидромагнезита в виде твердых скорлуповатых образований и рассыпчатых выделений способствует повышенное содержание магния во вмещающих доломитах.

*Гипсовый ансамбль*, представленный антолитами различных размеров, также весьма широко распространен в пещерной системе. Наиболее крупные антолиты находятся в п. Иллюзия. Относительно источника сульфатных ионов существуют разные точки зрения (Hill, Forti, 1997), но наиболее популярной и подходящей применительно к системе Снежной следует считать гипотезу окисления сульфидных минералов, возможно, пирита, и взаимодействия с известняком сернокислых растворов (Дублянский, 1977). На окисление сульфидов указывают окислы железа, которые наблюдаются в некоторых шлифах вмещающих пород. Отложения гипса, так же, как и отложения гидромагнезита, локализованы в наиболее сухих и хорошо проветриваемых участках полости.

*Кальцит-арагонит-гипсовый ансамбль* наблюдался в п. Меженного. Гипсовая кора неплотно прилегает к сталактиту, образуя подобие «кармана», заполненного мелкими (до 0,5 см) обломками арагонита, кальцита и гипсовым порошком. Некоторые из мелких обломков сцементированы в подобие брекчии. По-видимому, образование этих отложений связано с разрушением арагонитовых обрастаний под корой, осыпанием и последующей цементации их вследствие стекания в «карман» насыщенного карбонатного раствора. Что касается гипсового порошка, то судя по форме частиц, образование данной россыпи связано с осыпанием мелких гипсовых агрегатов с потолка галереи. Осыпание гипсовых агрегатов в пещерах часто связано с чередованием влажных и сухих периодов в микроклимате и зимним ветром.

*Кальцит-гипсовый стронциевый ансамбль* в системе Снежной был пока встречен лишь в п. Иллюзии. Целестин является довольно распространенным пещерным минералом – его находки описаны для пещер Средней Азии, Южной Африки, Венгрии, Италии и США (Hill, Forti, 1997). Механизм отложения целестина в пещерной среде, предложенный Д. Мартини (Martini, 1987), заключается в обогащении раствора сульфатом стронция за счет осаждения кальцита. Так формируются кораллиты с целестиновыми обрастаниями. Судя по результатам анализов зерен кальцита из кораллитов п. Иллюзии, кальцит верхней части кораллитов также обогащен

стронцием. Данная гипотеза сходна с гипотезой обогащения раствора магнием, приводящим к формированию высыпок гидромагнезита на концах арагонитовых ветвей. Для выявления источника стронция необходимы геохимические исследования вмещающих пород.

### МИНЕРАЛЫ, ВЫЯВЛЕННЫЕ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ КОРАЛЛИТА ИЗ П. ИЛЛЮЗИЯ НА ЭЛЕКТРОННОМ СКАНИРУЮЩЕМ МИКРОСКОПЕ

При детальном исследовании внутреннего строения кальцитового кораллита из нижней части п. Иллюзия с целестиновым обрастанием были дополнительно обнаружены такие минералы, как *стронцианит*, *доломит*, *гетит*, *циркон*, *рутил*.

Исследуемый кораллит состоит из Mg-содержащего (содержание MgO до 3.88 вес.%) и Sr-содержащего (до 23.85 вес.% SrO) кальцита, слагающего чередующиеся слои (рис. 8). Известно, что кальцит является наиболее распространенным пещерным минералом и обычно всегда содержит некоторое количество магния (Hill, Forti, 1997), примесь стронция появляется реже. В кальците, слагающем рассматриваемый кораллит, наибольшее количество магния содержится на участках на границах раздела слоев.

*Стронцианит*  $SrCO_3$  образует вытянутые лучистые кристаллы в центральной части кораллита совместно с целестином (рис. 9). Находки стронцианита описаны для пещер США и Испании, где данный минерал образует игольчатые агрегаты, гроздевидные массы и коры небольшой мощности; отложение стронцианита связывается с воздействием гидротермальных растворов на известняк, содержащий обогащенные целестином прослойки (Hill, Forti, 1997).

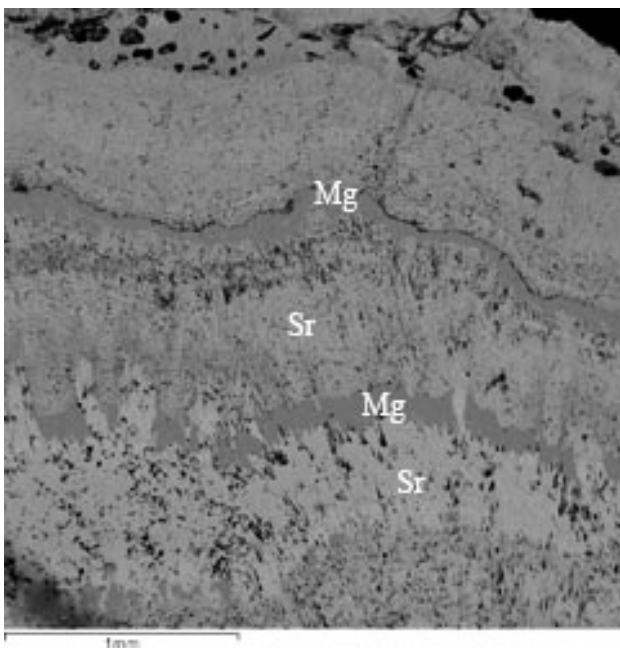


Рис. 8. Чередование слоев Mg-содержащего (темные прослойки) и Sr-содержащего (светлые прослойки) кальцита в кораллите.

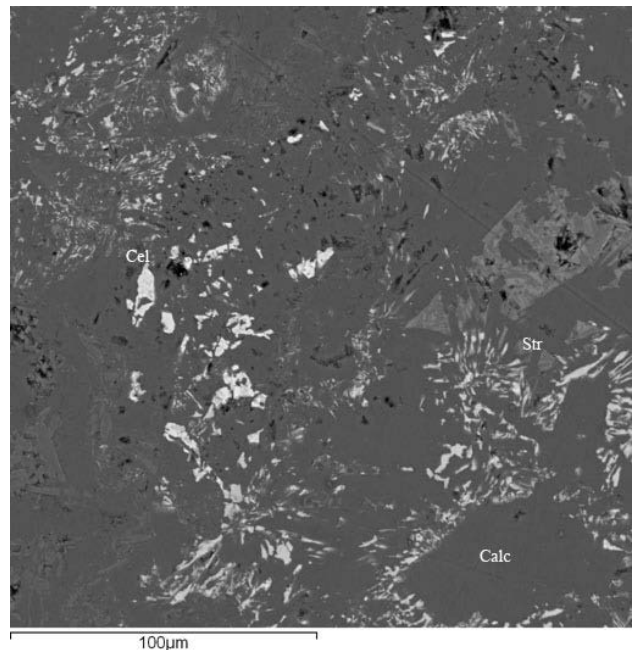


Рис. 9. Светлые включения целестиана (Cel) и стронцианита (Str) в Sr-содержащем кальците (Calc).

*Доломит*  $CaMg(CO_3)_2$  слагает включения в кальците (рис. 10) размером до 20 мкм и может содержать примесь  $SiO_2$  и  $Al_2O_3$ . Как пещерный минерал, доломит распространен менее широко, чем кальцит или арагонит, но был определен во многих пещерах мира обычно как составная часть тонкозернистых отложений: пещерной «пудры» и мондмилха («лунного молока»), но также и в составе натечных кор и кораллитов (Hill, Forti, 1997). Существуют разные точки зрения относительно появления доломита: одни исследователи считают вторичный пещерный доломит результатом изменений других карбонатных минералов (на это может указывать ассоциация доломита с гидромагнезитом, гунтитом или арагонитом), другие предполагают прямое осаждение из подземных вод с высоким содержанием магния (Hill, Forti, 1997). В данном случае мы наблюдаем доломит в ассоциации преимущественно с Mg-содержащим кальцитом, что может указывать на появление доломита вследствие увеличения содержания ионов Mg в питающем растворе, из которого первоначально отлагался кальцит. На участках, сложенных Sr-содержащим кальцитом, включения доломита обычно отсутствуют.

*Гетит*  $Fe^{3+}O(OH)$  был обнаружен в кораллите в виде единичного включения размером около 10 мкм (рис. 10). К. Хилл и П. Форти описывают многочисленные проявления гетита совместно с лимонитом в пещерах Австрии, Ботсваны, Болгарии, Китая, Кубы, Чехии, Италии, Японии, Киргизии, Норвегии, Румынии, России, Южной Африки, США и Венесуэлы в виде кор, драпировок, сталактитов, сталагмитов, каскадов и других спелеотем, при этом чисто гетитовые кристаллы известны только в пещере Туя-Муюн в Киргизии (Hill, Forti, 1997). Гетит встречается в пещерах Крыма в составе пещерного жемчуга (Тищенко, 2008). В целом гетит можно

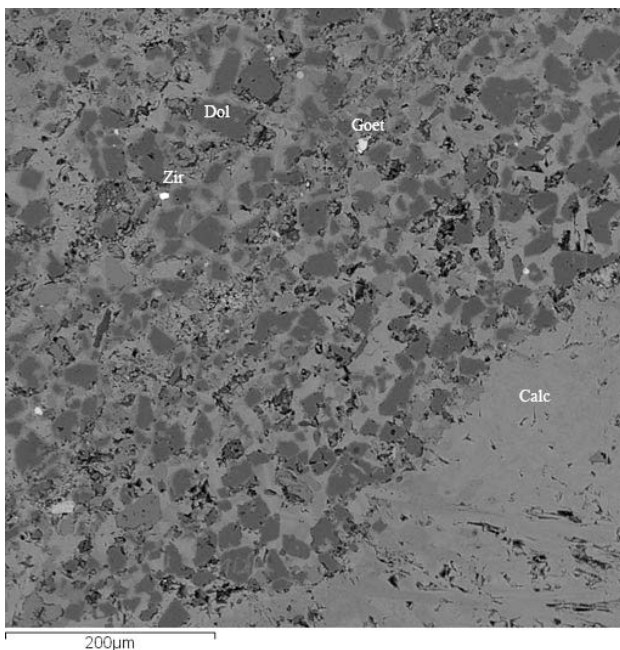


Рис. 10. Темные включения доломита (Dol) в Mg-содержащем кальците. Светлые включения: циркон (Zir) и гетит (Goet).

считать распространенным пещерным минералом. Образование его обычно связывается с окислением и разложением первичных минералов, содержащих двухвалентное железо, что может относиться и к данному микровключению.

Циркон  $ZrSiO_4$  с содержанием  $HfO_2$  1.84 вес.% (рис. 10) и рутил  $TiO_2$  с содержанием  $V_2O_3$  0.78 вес.% (рис. 11) были обнаружены в виде единичных включений размером около 5 мкм в кальците. Циркон является химически устойчивым минералом магматического происхождения (Бетехтин, 1950),

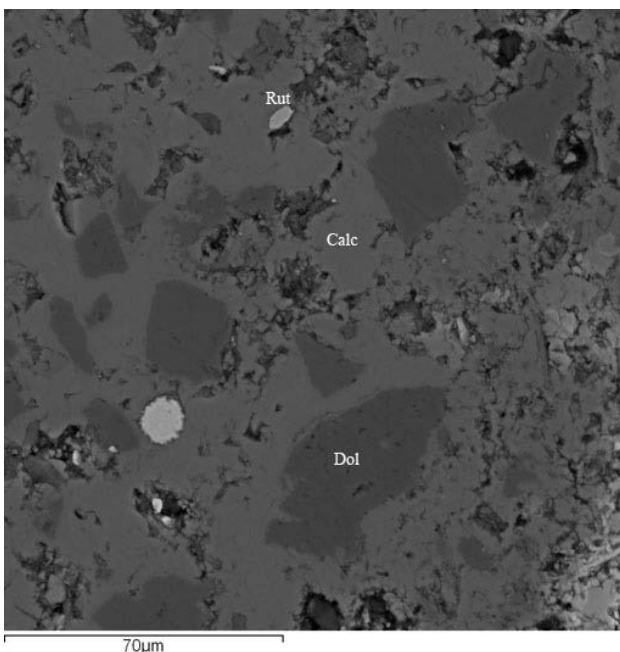


Рис. 11. Светлое включение рутила (Rut) в Mg-содержащем кальците.

который легко переходит в россыпи при разрушении горных пород, а затем – в осадочные породы в виде окатанных зерен. Рутил чаще всего образуется при метаморфических процессах в результате преобразования титансодержащих минералов (Бетехтин, 1950), выделяясь в виде самостоятельных зерен в гнейсах, слюдястых сланцах, амфиболитах и других породах; известны редкие находки его в виде новообразований в экзогенных продуктах разложения титановых минералов, изредка в осадочных породах и месторождениях боксита, а также он может встречаться в виде мельчайших новообразований в осадочных породах, богатых гидроокислами железа, алюминия и кремния. По-видимому, в кораллите оба минерала имеют аллохтонное происхождение и были занесены в ходе роста в составе глинистой примеси.

### О МИНЕРАЛЬНОМ СОСТАВЕ ВОДНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ

Водные механические отложения широко распространены в данной пещерной системе и представлены аллювием подземной реки и ее притоков, отложениями озер и глинистыми отложениями, принесенными с поверхности. Состав речных валунов, крупного гравия и гальки соответствует вмещающим породам. Также на участке п. Снежной распространены мелкие кремниевые гравий и галька, образующиеся за счет стяжений кремня во вмещающих породах (Мавлюдов, Морозов, 1984); кроме того, в паводки на нижних частях завалов отлагается тонкозернистый алевритовый материал.

Были взяты пробы тонкозернистых отложений в залах Дольмена и Гремячий. Образец из зала Дольмена сложен преимущественно доломитом (35%), кальцитом (40%) и кварцем (18%), наблюдаются следы хлорита, гидрослюда, смектита, рентгеноаморфная фаза, смешаннослойные минералы и, возможно, амфибол. Образец из Гремячего зала представлен в основном доломитом (50%) и кварцем (20%), полевым шпатом (15%), кальцитом (10%), наблюдаются следы гидрослюда, каолинита и смектита, рентгеноаморфная фаза.

Водные механические отложения п. Иллюзия нами не рассматривались. В п. Меженного по Сахалинской галерее протекает временный водоток, формирующийся в период паводка. Затапливаемые участки имеют мощные (до полуметра) песчано-глинистые отложения, формирующие сталагмитоподобные образования (рис. 12), которые можно отнести к денудационным формам по генетической классификации, приведенной в работе Г.В. Самохина (Самохин, 2012). Подобные образования, сложенные песчано-глинистым материалом, были отмечены в таких кавказских пещерах, как Мчишта-Акшаша и Новоафонская. Рыхлый материал из Сахалинской галереи сложен преимущественно доломитом (70%), также в состав входит кварц (6%), полевой шпат (4%), кальцит (6%), хлорит (6%), гидрослюда (6%), следы смектита, рентгеноаморфная фаза и смешаннослойные минералы.





Рис. 12. Сталагмитоподобные песчано-глинистые образования в п. Меженного.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В пещерной системе Снежная-Меженного-Иллюзия наблюдаются следующие вторичные минералы: Mg- и Sr-содержащий кальцит, арагонит, гипс, гидромагнезит, целестин, стронцианит, доломит, гетит, рутил и циркон, наиболее распространенными из которых являются кальцит, арагонит, гидромагнезит и гипс. Гидромагнезит встречен исключительно совместно с кальцитом и арагонитом, гипс может как сопровождать эти минералы, так и образовывать собственный ансамбль. Отложение гидромагнезита связывают с повышенными концентрациями магния в питающем растворе за счет магния, содержащегося во вмещающих породах – доломитах. Таким путем мог быть образован и вторичный доломит, обнаруженный при исследовании внутреннего строения кораллита из п. Иллюзия. Минералы стронция встречены только на одном участке в п. Иллюзия совместно с кальцитом и гипсом, и их формирование, предположительно, связано с повышенным содержанием стронция во вмещающих породах в данной части пещеры. Рутил и циркон, обнаруженные в виде микровключений в кораллите, по всей видимости, являются аллохтонными примесями.

В нижних частях пещеры вблизи от реки развиты преимущественно гравитационные и субаквальные коры, а на верхних, сухих в настоящее время, этажах можно видеть полный ряд агрегатов от гравитационных до антолитовых кор, при этом зачастую происходит нарастание кораллитовых кор на гравитационные с образованием полиминеральных агрегатов (рис. 7). Наиболее богаты вторичными минералами верхние сухие удаленные от реки этажи системы. В схожих по морфологии и микроклимату частях пещерной системы наблюдаются одинаковые вторичные минералы, что указывает на единство состава вмещающих пород и условий минералообразования.

Для песчано-глинистых водных механических отложений общими минералами являются доломит, кварц и кальцит, также в состав входят полевой шпат, хлорит, гидрослюда. Минеральный состав данных отложений сходен с составом вмещающих

пород и в целом типичен для тонкозернистых водных механических отложений карбонатных пещер.

Для понимания перераспределения элементов при спелеолитогенезе, в том числе выявления источника стронция, в дальнейшие геологические исследования системы Снежная-Меженного-Иллюзия следует включить изучение геохимии вмещающих пород и химического состава воды в пещере.

## БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы благодарят аналитиков Института земной коры СО РАН Ушаповскую З.Ф., Нартову Н.В., Филеву Т.С. и Самойленко М.М. и аналитика Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН Карманова Н.С. за выполненные анализы.

## ЛИТЕРАТУРА

- Бетехтин А.Г. Минералогия. - Москва: Госгеолиздат, 1950. - 956 с.
- Букия С.Г., Колосовская О.В., Абаелик Е.М. Геологическая карта и карта полезных ископаемых Абхазской АССР. - Москва: Недра, 1971. - 338 с.
- Вахрушев Б. А., Дублянский В. Н., Амеличев Г. Н. Карст Бзыбского хребта. Западный Кавказ. Москва: РУДН, 2001. - 165 с.
- Галактионов В. В., Глебов В. Ю., Захаров А. Л. и др. Самая глубокая пещера Советского Союза // Землеведение. - 1974. - Т.10 (50). - С. 51-55.
- Дягтерев А. По ту сторону Снежной: что дальше? // Свет. - 2009. - № 1 (35). - С. 6-17.
- Зверев М.М. Исследование карстовых полостей хребта Раздельный и шахты Снежной // Состояние и задачи карстово-спелеологических исследований. - Москва, 1975. - С. 94-96.
- Демченко О. Карстовая система «Снежная-Меженного». // <<http://rgo-speleo.ru/biblio/demchenko.htm#4>> accessed 2013 May 19
- Дублянский В.Н. Карстовые пещеры и шахты Горного Крыма. - Ленинград: Наука, 1977. - 182 с.
- Кортаев М. Ю., Косоруков Ю. С., Крот А. Н. Исследование пропасти Меженного // Состояние, задачи, методы изучения глубинного карста. - Москва: Недра. 1982. - С. 183-184.
- Литвинов И. Снежная. Другая пещера // Свет. - 2011. - № 37. - С. 12-23.
- Людковский Г. В., Мавлюдов Б. Р., Морозов А. И. и др. Об исследовании Снежной - глубочайшей карстовой пещеры СССР // ДАН СССР. - 1981. - Т.259. № 2. - С. 437-442.
- Мавлюдов Б. Р., Усиков Д. А. Предварительный отчет об исследованиях пещеры «Снежная» Западно-Кавказским карстово-гляциологическим отрядом отдела гляциологии Института географии АН СССР (Июнь-июль, 1979 г.) Научный руководитель: чл.-корр. АН СССР В.М. Котляков <<http://www.snowcave.ru/library/nauchn/mavludov-usikov.html>> accessed 2013 May 19
- Мавлюдов Б. Р., Морозов А. И. Пропасть Снежная // Пещеры. - Пермь: Пермский ун-т, - 1984. - Вып. 19. - С. 15-25.
- Максимович Г. А. Основы карстования. Т. 1. - Пермь, 1963. - 444 с.
- Мальцев В. А. Минералы системы карстовых пещер Кап-Кутан (юго-восток Туркменистана) // Мир Камня (World of Stones), 1993, №2. <<http://vl-maltsev.narod.ru>> accessed 2013 May 19.

Мальцев В. А. Пещера мечты. Пещера судьбы. 1997. // <  
<http://vl-maltsev.narod.ru>> accessed 2013 May 19

Самохин Г.В. Глиняные сталагмитоподобные образования в пещерах Крыма // Спелеология и карстология. - 2012. - №8. - С. 82-88.

Степанов В. И. Периодичность процессов кристаллизации в карстовых пещерах // Труды минералогического музея им. Ферсмана. Вып. 20. - Москва, 1971. - С. 161-171.

Тинтилов З. К. Карстовые пещеры Грузии. - Тбилиси: Мецниереба, 1976. - 275 с.

Тищенко А.И. Минералогическая изученность карстовых полостей Крыма // Спелеология и карстология. - 2008. - №1. - С. 81-84.

Швецов М.С. Петрография осадочных пород. - Москва: Госгеолтехидат, 1958. - 416 с.

Шелепин А. Иллюзия. <<http://rgo-speleo.ru/biblio/illuzia.htm>> accessed 2013 May 19

Hill C. A., Forti P. Cave minerals of the world, 2nd ed. Huntsville, AL: National Speleological Society. 1997. - 463 p.

Northup D. E., Lavoie K. H. Geomicrobiology of Caves: A Review // Geomicrobiology Journal. - 2001. - N.18. - P. 199–222

Martini J.E. Contribution to Mineralogy of the Cango caves // South African Speleol. Bull. - 1987. - V.28. - P. 18-28.

Moore G. W. Speleothem — a new cave term. Natl. Speleol. Soc. News. - 1952. -N.10. - P. 2