

## ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГИДРОЛОГИЯ И ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 551.4

DOI:10.7242/echo.2023.1.1

### ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О КРИОМИНЕРАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ ПЕЩЕРЫ ТРОФИМОВСКАЯ (ИРКУТСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Е.П. Базарова<sup>1</sup>, О.И. Кадебская<sup>2</sup>, О.В. Коротченкова<sup>2</sup>, Э.А. Силушкина<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт земной коры СО РАН, Иркутск

<sup>2</sup>Горный институт УрО РАН, г. Пермь

<sup>3</sup>Восточно-Сибирский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации

**Аннотация:** Оледенение в Трофимовской пещере носит сезонный характер. Ледяные образования имеют мерзлотный и сублимационный генезис. Криоминеральные образования представлены мелкозернистыми формами (криогенная мука) и сложены карбонатными минералами (кальцит, лансфордит). Образование лансфордита связано с переотложением магния, содержащегося во вмещающих алевролитах, с доломитовым цементом. Криогенная мука была образована путем быстрого замораживания раствора. Слабое развитие криоминеральных образований на поверхности ледяных форм связано с низкой соленостью раствора, что, по-видимому, обусловлено образованием сезонных ледяных образований исключительно за счет конденсационных вод.

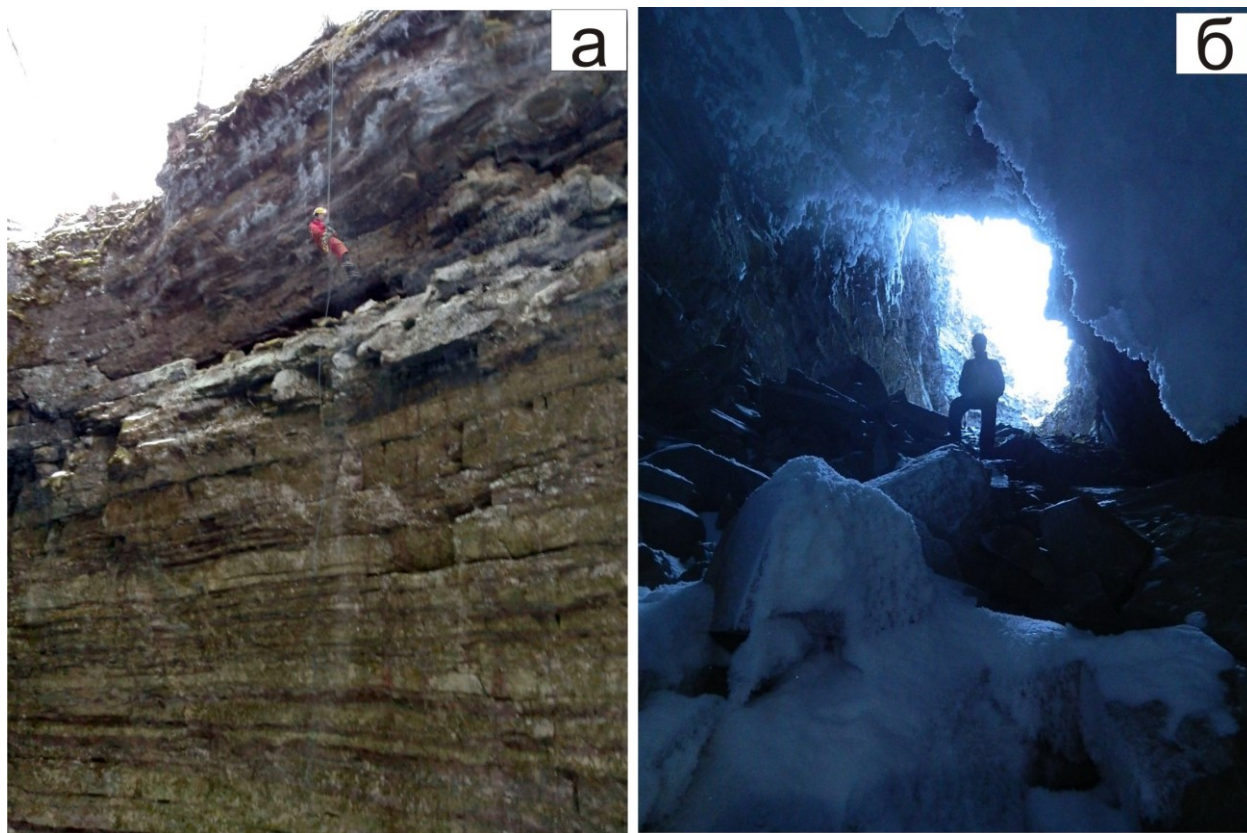
**Ключевые слова:** пещеры, пещерные отложения, криогенез, лансфордит.

Пещера Трофимовская находится в северных предгорьях Восточного Саяна в верховьях р. Уныл (правый приток р. Уды). Исследование пещеры было начато в 1995 г. спелеологами Иркутского областного спелеоклуба, ранее полость посещалась местными жителями. В данной работе впервые приводится характеристика ледяных и связанных с ними криоминеральных образований п. Трофимовская.

Отбор проб проводился во время тренировочно-исследовательского выезда зимой 2019 г. (руководитель Э.А. Силушкина). Были взяты образцы вмещающих пород, ледяных и криоминеральных образований. Содержания петрогенных компонентов определялись в ЦКП Института земной коры СО РАН в г. Иркутске методом силикатного анализа аналитиком М.М. Самойленко; химический состав пещерного льда определялся методами титриметрии, гравиметрии и атомно-адсорбционной спектроскопии аналитиком Л.А. Дурбан. Исследование морфологии и химического состава криоминеральных образований проводилось в Горном институте УрО РАН в г. Пермь на сканирующем электронном микроскопе VEGA 3 LMN с системой рентгеновского энергодисперсионного микроанализа INCA Energy 350/X-max 20. Образцы после высушивания при комнатной температуре напылялись углеродом и исследовались в камере с высоким вакуумом.

Вход в п. Трофимовская расположен на крутом залесенном склоне и представляет собой воронку с отвесными стенами размером 40 на 16 м и глубиной 29 м (рис. 1а), на дне которой находится конус, сложенный глыбами и щебнем вмещающих пород. В южной части воронки расположено озеро размером 8 на 5 м (глубина не измерялась). На момент посещения пещеры в январе 2019 г. озеро было замерзшим. Под северной стеной воронки находится щелевидный проход в подземную часть карстовой системы. Протяженность пещеры составляет 512 м при амплитуде 86 м (по данным А.Г. Докучаева и В.Н. Реутского, 1996 г.). Подземная часть системы представляет собой наклонную галерею шириной до 20 м и высотой до 8 м при средней ширине и высоте 10 и 5 м, соответственно, с двумя небольшими ответвлениями. На полу галереи наблюдается большое количество обломочно-

го материала, в пониженных местах пол покрыт глиной. На отдельных участках стен встречаются небольшие натечные коры и кораллиты.



**Рис. 1.** Западная стена входной воронки (а) и привходовая часть пещеры, обильно покрытая кристаллами сублимационного льда (б). Авторы фото: Е.Ю. Распопов (а), Е.П. Шумкина (б)

Пещера заложена в породах тагульской свиты верхнего рифея, представленных переслаиванием доломитов, песчаников и алевролитов [1]. Химический состав вмещающих пород приводится в таблице 1. Образцы сложены преимущественно кварцем, полевым шпатом и доломитом. В алевролитах доломит обычно образует мелкозернистый цемент, в который погружены остроугольные обломки кварца и полевого шпата, иногда зерна доломита слагают отдельные прожилки в породе. В некоторых случаях вместо доломита роль цемента в алевролитах выполняет гетит, и в химическом составе таких образцов повышено содержание железа (табл. 1, обр. 1).

Постоянные водотоки в пещере отсутствуют, но в дальней части отмечаются небольшие лужи и наносы почвы с растительными остатками, указывающие на присутствие временного водотока. По-видимому, в период дождей и снеготаяния поверхностные воды стекают в дальнюю часть галереи по системе трещин (на существование трещин, сообщающихся с поверхностью, также указывает широко развитая в дальней части галереи зимой изморозь и маломощные ледяные коры). В зимний период вода в пещере имеет конденсационное происхождение.

Вследствие проникновения холодного воздуха по трещинам п. Трофимовская характеризуется весьма интенсивным воздухообменом с поверхностью. Зимой 2019 г. ток воздуха из полости был настолько силен, что в безветренный день наблюдалось покачивание веток кустарника над входным отверстием. Выходящий из пещеры влажный воздух способствует формированию на стенах и потолке в

привходовой части массивных отложений сублимационного льда, которые, осыпаясь, образуют сугробы на полу (рис. 1б).

Таблица 1

Химический состав вмещающих пород п. Трофимовская (мас. %)

Компоненты	Номера образцов			
	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	50,31	57,29	51,73	59,94
TiO <sub>2</sub>	0,52	0,89	0,25	0,93
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,88	10,98	4,9	19,92
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,12	0,4	1,09	1,78
FeO	0,67	0,42	0,49	0,36
MnO	0,45	0,05	0,2	<нпо
MgO	0,69	3,84	7,65	1,8
CaO	7,44	6,68	11,61	0,35
Na <sub>2</sub> O	0,05	0,09	0,09	0,06
K <sub>2</sub> O	11,03	8,78	4,57	11,37
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4,76	0,39	0,18	0,21
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,37	0,11	<нпо	0,17
ппп	1,95	1,24	0,55	2,94
CO <sub>2</sub>	1,12	9,08	16,56	0,13
<b>Сумма</b>	<b>99,37</b>	<b>100,23</b>	<b>99,87</b>	<b>99,96</b>

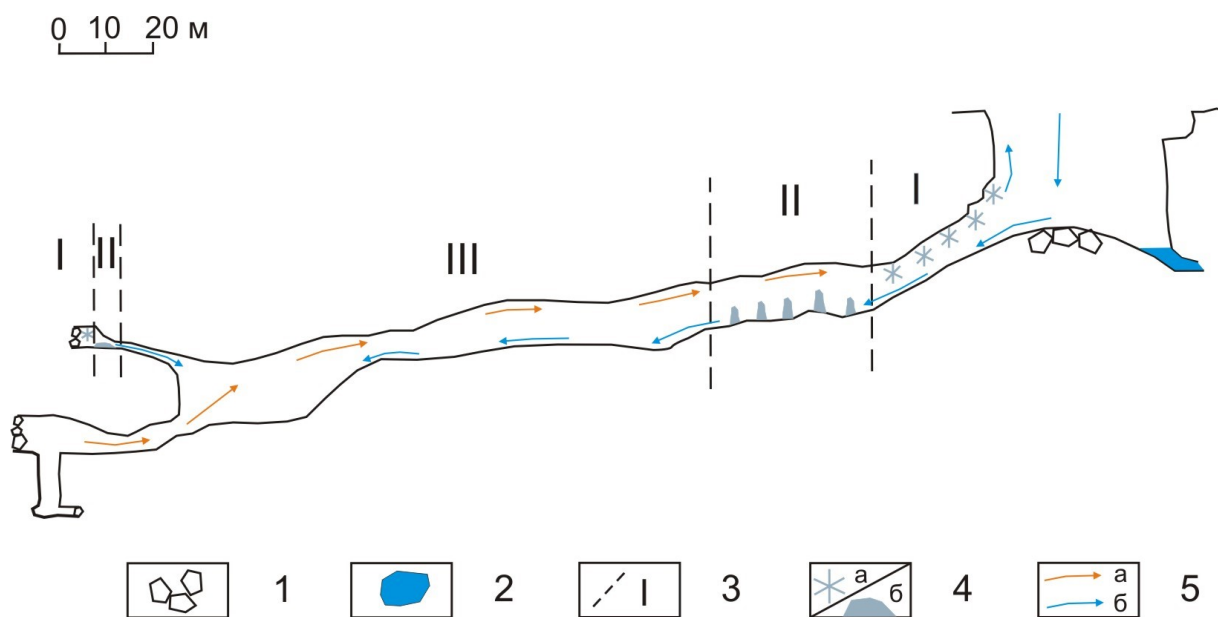
**Примечание.** 1 – алевролит с гетитовым цементом, 2 – 3 – доломитистый алевролит, 4 – алевролит; <нпо – содержание компонентов ниже предела обнаружения. Пределы обнаружения петрогенных окислов (мас. %): TiO<sub>2</sub> – 0,02, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,25, MnO – 0,01, K<sub>2</sub>O – 0,01, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,2, FeO – 0,02, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,03, H<sub>2</sub>O<sup>-</sup> – 0,01, потери при прокаливании (ппп) – 0,02.

Вследствие своей морфологии пещера характеризуется относительно четкой микроклиматической зональностью: выравнивающая (I), переходная (II) и нейтральная (III) зоны (рис. 2). В дальней части галереи также можно выделить выравнивающую и переходную зоны, но меньшей протяженности.

Распространение ледяных образований приурочено к первым двум зонам, при этом в выравнивающей зоне наблюдались преимущественно сублимационные, а в переходной – конжеляционные льды (сталактиты, сталагмиты, драпировки, небольшие покровные наледи, рис. 3).

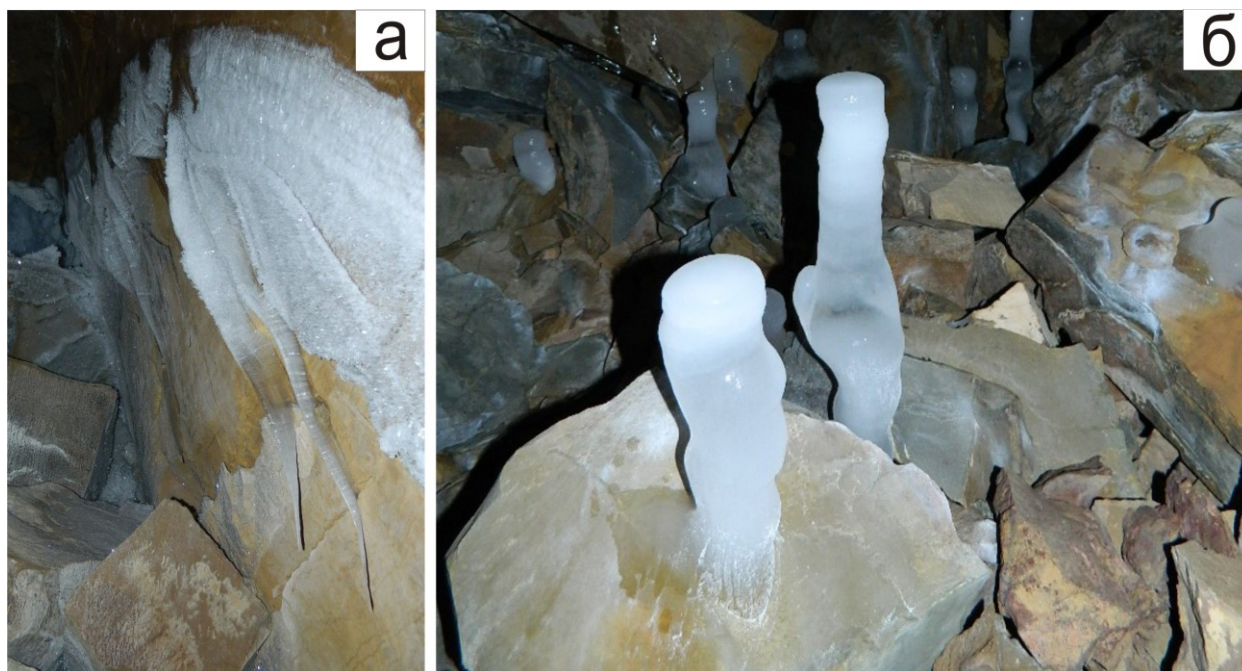
В январе 2019 г. температура в нейтральной зоне пещеры составляла +4°C, а в переходной зоне – -1°C. При этом в переходной зоне на потолке наблюдались многочисленные капли воды, указывающие на положительную температуру в верхней части хода.

Отбор образцов проводился в переходной зоне. Были взяты образцы льда и криогенного материала с поверхности ледяного сталагмита. Расплав ледяного сталагмита имеет гидрокарбонатно-магниевый-кальциевый состав (табл. 2).



**Рис. 2.** Схема п. Трофимовская (по данным топоъемки А.Г. Докучаева и В.Н. Реутского, 1996 г.).  
1 – глыбовые завалы, 2 – озеро, 3 – границы и номера микроклиматических зон, 4 – ледяные образования (а – сублимационные, б – конжеляционные), 5 – направления воздушных потоков (а – теплый, б – холодный воздух).

Данные о ледяных образованиях и направлении воздушных потоков приводятся на момент исследования (январь 2019 г.)



**Рис. 3.** Ледяные драпировки (а) и сталагмиты (б) в привходовой части пещеры.  
На поверхности сталагмитов наблюдается налет криоминеральных образований. Фото Е.П. Шумкиной

Криоминеральные образования п. Трофимовской сложены магниезальным кальцитом (до 5,3 мас. % MgO) и лансфордитом ( $MgCO_3 \cdot 5H_2O$ ). Кальцит образует сферолиты размером до 20 микрон; лансфордит представлен кристаллами и их сростками размером до 200 микрон. На поверхности кристаллов заметны трещины обезвоживания.

Таблица 2

Химический состав и минерализация ледяного сталагмита  
из п. Трофимовская

Минерализация, мг/л	рН		Содержание компонентов							
			НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>2+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
165,18		мг/л	117,16	10,0	1,06	20,44	11,31	0,57	0,43	2,21
	6,4	мг- экв/л	1,92	0,21	0,03	1,02	0,93	0,01	0,02	0,04
		%-экв	87,52	9,49	1,37	51,43	46,89	0,74	0,94	1,62

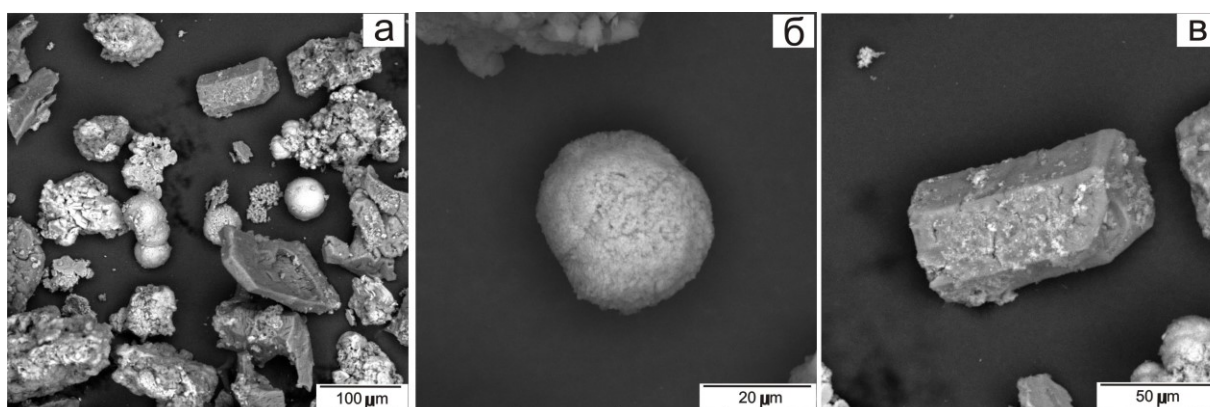


Рис. 4. Морфология криогенной муки из п. Трофимовская:  
а – общий вид, б – кальцитовый сферолит, в – кристалл лансфордита с трещинами усыхания

Конжеляционные ледяные образования в переходной зоне, имеют, по-видимому, конденсационное происхождение. Выходящий из пещеры теплый влажный воздух оседает каплями на потолке, а при падении на замороженный пол капли замерзают, формируя сталагмиты с плоской вершиной. Известно, что конденсационная влага обладает низкой минерализацией и высокой способностью растворять горную породу [2], таким образом можно предположить, что насыщение раствора ионами происходит только в короткий период после осаждения воды на потолок и стены пещеры и до падения капли, вследствие чего минерализация расплава льда невысокая, и криогенный остаток на сталагмитах развит слабо. Присутствие магниезальных минералов (Mg-кальцита и лансфордита) в составе криогенных образований обусловлено составом вмещающих пород, содержание MgO в которых за счет доломитового цемента и доломитовых прослоев доходит до 7,65 мас.%. Размер частиц криогенного материала не превышает 200 микрон, поэтому данные образования можно отнести к криогенной «муке», формирующейся при быстром замерзании раствора. При испарении льда частицы образуют тонкую мучнистую пленку на поверхности ледяных сталагмитов.

*В работе задействовались оборудование ЦКП «Геодинамика и геохронология»  
Института земной коры СО РАН в рамках гранта №075-15-2021-682.*

*Авторы благодарят Э.А. Силушкину за помощь в сборе образцов, а также аналитиков  
М.М. Самойленко и Л.А. Дурбан за проделанные анализы и Е.П. Шумкину  
и Е.Ю. Распопова за предоставленные фотографии.*

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Объяснительная записка к государственной геологической карте Российской Федерации. Масштаб 1:1000000. Серия Ангаро-Енисейская. Лист N-47 – Нижнеудинск, СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012.
2. Дублянский В.Н. Занимательная спелеология. – Челябинск: Урал-ЛТД, 2000. – 525 с.: ил.

УДК 911.5:551.44

DOI:10.7242/echo.2023.1.2

**ГОЛУБОЕ ОЗЕРО В САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ**

М.П. Бортников

*Самарский государственный технический университет,  
Самарская спелеологическая комиссия*

**Аннотация:** Проведено описание озера Голубое в Самарской области и карстового массива, на котором оно расположено. Определена интенсивность карста. Описаны поверхностные карстовые формы и водопункты. Выделена новая водоносная зона поддолинной циркуляции подземных вод с русловым типом резервуаров. Проведена топографическая съемка карстового урочища и района Голубого озера по состоянию на 2018 год. Представлена история исследований описанной территории по литературным источникам.

**Ключевые слова:** карст, озеро, подземные воды, Самарская область.

***1. Географическое положение***

Голубое озеро (или Голубое-1) расположено в Сергиевском районе Самарской области в 112 км северо-восточнее областного центра и в 2,5 км северо-восточнее пос. Старое Якушкино.

Озеро находится в своеобразном урочище (Рис. 1), которое относится к Бугульминско-Белебеевской возвышенности, орографического района Кинельских Яров, провинции Высокого Заволжья. Последняя расположена здесь в пределах денудационной равнины олигоценного возраста [1].

Гидрографически урочище относится к бассейну р. Сок. Озеро заложено в нижней части водораздельного склона на границе с верхнепойменной террасой, правобережной части долины р. Шунгут, являющейся притоком р. Сок второго порядка. Надпойменных террас река не образовала. Абсолютные отметки тылового шва долины 88 м. Ширина правобережной части 60-90 м, а общая ширина долины 0,3-0,4 км. В целом поверхность верхней поймы выровненная, осложненная руслами ручьев, карстовыми воронками и заболоченными западинами. От нижней поймы она отделена уступом высотой 1-3 м. Урез воды в р. Шунгут 84,7 м.

Правобережный водораздельный склон у тылового шва долины имеет четкую границу. Он выпуклый, углы наклона достигают 20 градусов и более. Выше по склону рельеф становится пологим, с углами наклона до 2-8 градусов. Осложнен оврагами и карстовыми воронками. У Голубого озера водораздельный склон представляет собой устье балки шириной 100 м, которая образована слиянием трех карстованных оврагов. Левобережный водораздельный склон пологий плоско-выпуклый с углами наклона до 2-4 градусов. Тыловой шов долины в рельефе просматривается плохо. Таким образом, поперечный профиль долины р. Шунгут имеет асимметричное строение.