

Булычов Анатолий Александрович

**Морфология пещер в слабокарстующихся породах Алтае-Саянской
горной области**

Специальность 1.6.14 Геоморфология и палеогеография

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени кандидата географических наук

Новосибирск - 2024

Работа выполнена в ФГБУ науки «Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева
Сибирского отделения Российской академии наук» в лаборатории литогеодинимики осадочных
бассейнов

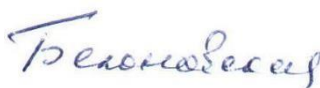
- Научный руководитель** – *Новиков Игорь Станиславович, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, ФБГУН Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева Сибирского отделения Российской академии наук*
- Официальные оппоненты** – *Кадебская Ольга Ивановна, доктор географических наук, заведующая Кунгурской лабораторией - стационаром Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук*
- Мавлюдов Булат Рафаелевич, кандидат географических наук, старший научный сотрудник Отдела гляциологии Института Географии Российской академии наук*
- Ведущая организация** – *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет»*

Защита состоится «23» мая 2025 года в 10:30 на заседании диссертационного совета 24.1.049.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт географии Российской академии наук» по адресу: 119017, Москва, Старомонетный пер., д. 29, стр. 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института географии РАН по адресу: 119017, Москва, Старомонетный пер., д. 29, стр. 4, и на сайте Института: <http://igras.ru/defences>. Автореферат разослан «_____» _____ 2025 года.

Отзывы на автореферат (в электронном виде и на бумажных носителях в одном экземпляре, заверенные подписью и печатью) просим направлять по адресу: 119017, Москва, Старомонетный пер., д. 29, стр. 4, Диссертационный совет 24.1.049.02, e-mail: d00204603@igras.ru.

Ученый секретарь
кандидат географических наук



диссертационного совета,
Е.А. Белоновская

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. В последние годы сделан существенный прорыв в открытиях пещер. Российские спелеологи преодолели 2-км рубеж абсолютной глубины сразу в двух пещерах Абхазии и ещё в двух приблизились к заветной отметке; значительно удлинен лабиринтные пещеры России или открыты новые объекты в десятки километров ходов, в том числе в слабокарстующихся породах. Обнаружены и отсняты полости в некарстующихся породах (в кварцитах, гнейсах, гранитах, базальтах) по всему миру. Практические результаты полевых исследований не имеют объяснения в рамках общепринятых канонов классической теории карстования, поэтому назрела необходимость новых подходов в понимании генезиса карстовых и особенно некарстовых полостей.

Объект исследования – пещеры в конгломератах и мраморизованных известняках Алтае-Саянской горной области (Рисунок 1): приурочены к низкогорному рельефу платообразных хребтов с широкими слабо расчлененными водоразделами с затрудненным дренажем и глубокими меж хребтовыми долинами, в которые осуществляется подземный сток. Изучаемые пещеры Восточного Саяна заложены в нарвской толще, сложенной известковисто-алевритовыми конгломератами: валуны - доломиты, галька - кварцевый кремнь, плагиоклаз, цемент песчано-гравелитовый с кальцитом (не повсеместно). Мраморизованные известняки каянчинской свиты, в которых заложены изучаемые пещеры Горного Алтая, обрамлены кислыми эффузивными, терригенно-вулканогенными породами, гранитами. Тектоника представлена разломами право-сдвигового типа с оперяющимися структурами растяжения (Новиков, 1998).

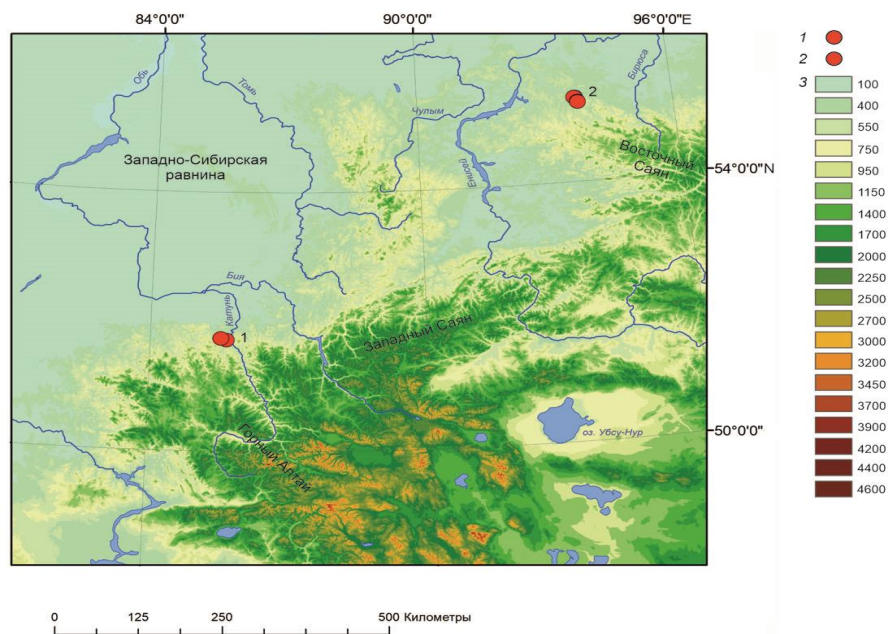


Рисунок 1. - Схема расположения выдающихся пещер Алтае-Саянской горной области.

1 - Алтайская и Кек-Таш; 2 - Большая Орешная и Баджейская-Дудинская; 3 - абсолютные высоты местности, м.

Цель работы - выявление особенностей морфологии и разработка модели происхождения крупных пещер в слабокарстующихся породах Алтае-Саянской горной области на основании данных собственных исследований. Породы дислоцированы разломами растяжения, являющимися опережающими структурами системообразующих разломов право-сдвигового кинематического типа (Новиков, 1998), фрагментарно имеют плотную сеть трещиноватости, местами прорываются микроклиновыми гранитами. Нами предложена гипотеза формирования полостей, основанная на процессе аргиллизации (Волостных, 1972) вдоль разломов с последующим выносом глинистой компоненты грунтовыми водами в направлении разгрузки пещер.

Задачи исследования: 1) выявить закономерности, позволяющие отличать строение слабокарстующихся пещер от типично карстовых; проанализировать данные по геологии изучаемых районов и данные, полученные в результате собственных исследований, литературный материал и отчёты спелеологических экспедиций; 2) выявить роль трещиноватости и аргиллизации при образовании крупных полостей в слабокарстующихся породах; 3) проследить связи морфологии пещер с разрывными нарушениями массивов крупнейших полостей в слабокарстующихся породах Алтае-Саянской горной области; 4) разработать модель происхождения и сформулировать поисковые характеристики, позволяющие обнаруживать новые полости в Алтае-Саянской горной области.

Методы исследования. Для исследования разрывных нарушений внутри пещер выявлялись тектонически приуроченные протяженные линейные структуры. Для картографирования внутри пещер выполнялась инструментальная лазерная съёмка (Leica HDS 7000 с плато со встроенным компасом и blue tooth), полуинструментальная съёмка (лазерная рулетка Bosch GLM 50C). Для обработки данных измерений внутри пещер использовалась программа Surverx-Win 32 компании Inkscape (Golicz, 2017); изображения выполнены в программе “therion”. Для визуализации применены расширения .3D, .loch, .png. На поверхности выполнялось структурно-тектоническое профилирование (Катаев, 1999), анализ космоснимков районов (ESRI-покрытие) и стереоскопическое дешифрирование аэрофотоснимков (из фонда ИГиГ СОРАН). Для определения химического и минералогического состава пород применен рентгенофазовый анализ (аппаратура “Дрон-8», аналитик Мирошниченко Л.В.), элементный состав определялся на рентгенофлуоресцентном анализаторе Olympus Vanta M, анализ шлифов образцов (аналитик Вишневский А.В.) проводился в плоскополяризованном свете и в скрещенных николях, водородный показатель в пробах раствора определялся автономным рН-метром Ohaus ST300-B. Для отсечки купольных полостей с поверхности применен сейсмо-электрический метод (Boulytchov, 2000), а из глубин пещер купольно-тупиковые восходящие вертикальные плоскости выявлялись альпинистской техникой (Булычов, 2019, 2024).

Научная новизна результатов исследования: 1) открыты новые пещерные системы, которые значительно удлинили ранее открытые пещеры; 2) применена инструментальная подземная съёмка и новейшие компьютерные программы для картографирования с целью выявления разрывных нарушений; 3) выявлено влияние тектонических движений на спелеогенез в слабокарстующихся породах; 4) выявлены крупные полости, не имеющие прямой связи с поверхностью; 5) обнаружены признаки аргиллизации в зонах разрывных нарушений в слабокарстующихся породах.

Практическая значимость исследования. Новый подход в изучении спелеогенеза в слабокарстующихся породах позволил осуществить открытия значительных пещерных систем, что дало толчок краеведческому и спортивному туризму регионов. Значительные полости должны будут учитываться при инженерных изысканиях. Процессы аргиллизации, как правило, сопряжены с полезными ископаемыми, что вызовет интерес геологоразведки.

Основные защищаемые положения.

1. Морфология пещер, развитых в слабокарстующихся породах, характеризуется решётчато-коробчатой геометрией, что определяется системой трещиноватости вдоль разрывных нарушений малых амплитуд. Основные направления ходов выстраиваются не в субгоризонтальные, а в восходящие (часто купольно-тупиковые) субвертикальные плоскости.

2. Основным признаком формирования полостей в слабокарстующихся породах является их предопределенность зонами разрывов малой ширины и большой протяженности, по которым по латерали, вверх и вглубь развивается спелеогенез, в связи с чем предложен метод прогноза новых полостей, основанный на поиске продолжения плоскостей вдоль зон разрывов.

3. Образование крупных полостей в слабокарстующихся породах заключается в том, что вдоль зон разрывных нарушений малых амплитуд смещения происходил процесс аригиллизации с последующим выносом глинистой компоненты грунтовыми водами, что объясняет решетчато-коробчатую морфологию пещер. Выделено 3 этапа: а) формирование зон дробления, б) проработка субстрата зон разрывов растворами (аргиллизация) с образованием аргиллизированных пород, в) частичный вынос аргиллизитов грунтовыми водами в сторону разгрузки пещер, в процессе чего формируются объёмные полости.

Личный вклад автора. Все работы проводились под непосредственным руководством автора (клуб спелеологов Академгородка, клуб спелеологов “Каскад” НГУ, клуб альпинистов и спелеологов “Adventure” НГУ) при личном участии, начиная с 1978 года. В процессе выполнения диссертационной работы и обучения в аспирантуре ИГМ СОРАН автором проведено структурно-тектоническое профилирование Баджейского массива (Булычов, 2024), взяты пробы образцов пород и минералов, измерены водородные показатели в пробах

раствора, выявлены новые купольно-тупиковые восходящие плоскости в изучаемых объектах (Булычов, 2024).

Публикации и апробация работы. По теме диссертации опубликовано 27 печатных работ, из них 1 статья в журнале, входящем в перечень ВАК РФ и 1 статья в Международном рейтинговом журнале (Physics and Chemistry of the Earth, Journal of EGS, Elsevier), приравненному к статьям из перечня ВАК.

Материалы по теме диссертации докладывались автором на устных презентациях на Международных Спелеологических Конгрессах UIS в 1997 (La-Chaux-de-Fonds), 2013 (Brno), 2017 (Sydney), 2022 (Savoie Mont Blanc) годах, на Международных Геофизических конференциях EAGE (Helsinki, 1999, Amsterdam, 2001, Stavanger, 2003), SEG (Salt Lake City, 2002), EGS (Nice, 1998, 2000, 2000). Устные доклады представлены на конференции “Динамика и взаимодействие геосфер Земли” с международным участием (Томск, 2021), на ежегодных чтениях Красноярского Клуба Спелеологов в 2000-2024 годах. Автор 45 научных публикаций по спелеологии и геофизике.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и 3-х приложений. Объём текста 110 страниц, 68 иллюстраций, 4 таблицы, литературных источников 200 наименований, включая опубликованные отечественные и зарубежные, тематические статьи.

Благодарности. Автор выражает благодарность научному руководителю доктору геол.-мин. наук И.С. Новикову (Институт геологии и минералогии имени академика В.С. Соболева СО РАН) за помощь в выполнении работы и за идеи в постановке полевых наблюдений, доктору геол.-мин. наук Р.А. Цыкину за многолетнее курирование полевых наблюдений и их обсуждение, Е.В. Лебедевой за замечания по написанию работы. Отдельная благодарность А.П. Баринovu (Красноярский Клуб Спелеологов) за помощь в выявлении разрывных нарушений по картографированию на Баджейском карстовом участке.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении рассматривается современное состояние карстоведения как науки. Показан прорыв в спелеологии и личный вклад автора диссертации в открытиях и первопрохождениях пещерных систем.

В первой главе анализируются общепринятые гипотезы и подходы исследования пещер. Ставится проблема образования значительных полостей в слабокарстующихся породах.

Во второй главе рассматривается методика и результаты наблюдений тектонически приуроченных линейных структур: высоких, протяжённых, прямолинейных пещерных галерей, заложенных по крупным раскрытым тектоническим нарушениям, а также результаты структурно-тектонического профилирования на поверхности и дешифрирования аэрофото и космоснимков. Проводится корреляция дизъюнктивных нарушений, выявленных на поверхности и в пещерах, в результате чего делается вывод о преимущественно тектоническом происхождении крупных полостей в слабокарстующихся породах: решётчато-коробчатая морфология отличается от типично карстовых пещер. Основные направления ходов выстраиваются не в субгоризонтальные, а в восходящие (часто купольно-тупиковые) субвертикальные плоскости. По материалам 2-й главы сформулировано 1-е защищаемое положение.

В третьей главе показано, что для детального выявления систем разрывов внутри пещер оказалось необходимо инструментальное картографирование. Использовалась программа Survox-Win 32 компании Inkscape (Golicz, 2017) для обработки данных измерений внутри пещер; изображения выполнены в программе "therion". Для визуализации применены расширения .3D, .loch., .png, в результате чего выявлены плоскости разрывов в глубинах пещер, не идентифицируемые с поверхности. Предложен поисковый признак для обнаружения новых полостей по простиранию выявленных плоскостей. По материалам 3-й главы сформулировано 2-е защищаемое положение.

В четвёртой главе исследуется феномен аргиллизации применительно к полостям, заложенным вдоль разрывных нарушений. В пещерах в конгломератах и мраморизованных известняках обнаружены и подтверждены аргиллизиты; измеренный pH в пробах раствора показал кислую среду. Предложен механизм формирования полостей, основанный на процессе аргиллизации вдоль тектонических разрывов с последующим выносом глинистой компоненты грунтовыми водами в направлении разгрузки пещер. По материалам 4-й главы сформулировано 3-е защищаемое положение.

В приложении приводятся некоторые результаты рентгенофазового анализа и анализа шлифов образцов пород из пещер.

Дальнейшее изложение материала диссертационной работы приводится согласно защищаемым положениям.

ПЕРВОЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Морфология пещер, развитых в слабокарстующихся породах, характеризуется решётчато-коробчатой геометрией, что определяется системой трещиноватости вдоль разрывных нарушений малых амплитуд. Основные направления ходов выстраиваются не в субгоризонтальные, а в восходящие (часто купольно-тупиковые) субвертикальные плоскости.

Классический карст - это эпикарст (Климчук, 2009) с шахтно-коридорной морфологией (Рисунок 2), и рельеф пещер карстового происхождения достаточно хорошо изучен (Маринин 1990, Цыкин, 1990).

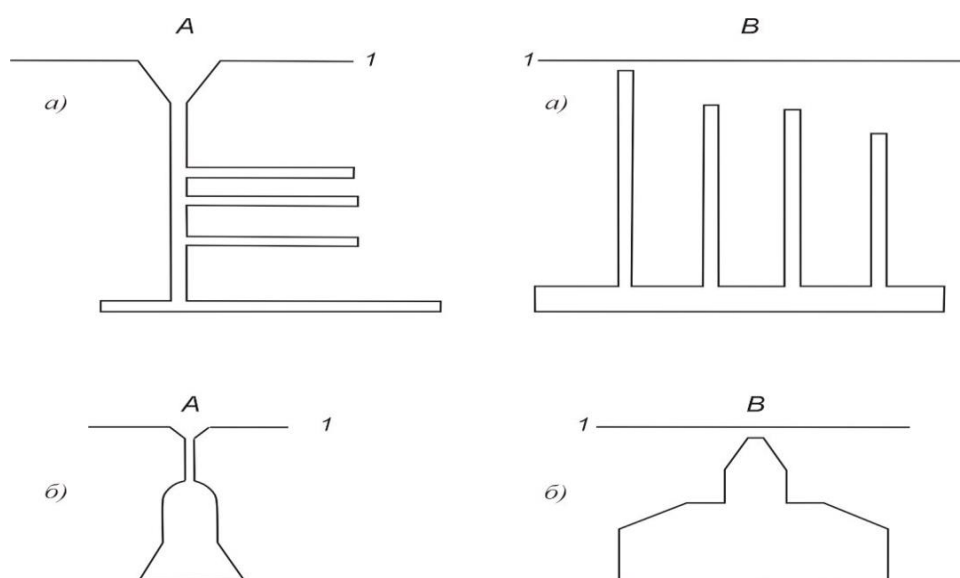


Рисунок 2. Разрезы (вид сбоку) карстовых пещер А и пещер в слабокарстующихся породах В: а) типичная морфология, б) распределение объёмов с глубиной, 1 - поверхность.

Но существуют пещеры, где по определению их быть не должно: породы массивов не соответствует классическому представлению о карсте. Действительно, в слабокарстующихся

породах (конгломератах, мраморах и мраморизованных известняках) пещеры повсеместно незначительны (Lipar, Ferk, 2022, Филиппов и др., 2023), и механизм их формирования до конца неясен. Тем не менее, нами исследованы крупные полости конгломератовой нарвской толщи Баджейского массива (Восточный Саян, Манский прогиб), где самыми выдающимися являются пещеры Большая Орешная, Дудинская и Баджейская, длина которых составляет более 51 км, 41 км и 10 км соответственно. Эти пещеры имеют в плане решётчатое строение, в объёме – коробчатое с трещинами между блоками, и основные направления ходов выстраиваются в восходящие субвертикальные плоскости (Рисунок 2).

Считалось (Ford, Williams, 2007), что пещеры в конгломератах обусловлены карстификацией по карбонатному матриксу («кластокарст по суглинкам с карбонатами»), в том числе пещеры нарвской толщи (Цыкин, 1990), однако карбонатная компонента оказалась не повсеместной, и открытия новых систем последних десятилетий показывают тектонические брекчии без карбонатной компоненты (Булычов, 2024). На Горном Алтае (Семинский хребет) основной объект исследования - крупные пещеры Алтайская и Кек-Таш в мраморизованных известняках нижнего кембрия каянчинской свиты длиной более 4,7 и 3,2 км соответственно.

В глубинах пещер проводились наблюдения линейных структур: высоких, протяжённых, прямолинейных пещерных галерей, заложенных по раскрытым тектоническим нарушениям (Булычов, 2024). Выявлялись сопутствующие зоны дробления, брекчии, зеркала скольжения и предполагалась их тектоническая обусловленность. На дневной поверхности выявлялись участки повышенной плотности трещиноватости посредством метода структурно-тектонического профилирования (Катаев, 1999), для верификации использовались аэрофотоснимки с последующей инструментальной обработкой. Для обнаружения близко расположенных к поверхности (3 - 15 м) полостей были проведены сейсмоэлектрические (Boulytchov, 2000, Sorokina, Boulytchov, 2001) измерения.

В глубинах пещеры Большая Орешная выявлены тектонические нарушения (номера 1-8, Рисунок 3). Разрывное нарушение S-W (Рисунок 3) предположено с дневной поверхности, благодаря чему нами была открыта значительная система Сибирская (на схеме показана синим цветом, основная часть пещеры – чёрным цветом). Посредством восхождений по стенам разрывов (высотой до 90 м) обнаружены близко лежащие к поверхности системы, простирающиеся под водораздельный хребет и, вероятно, в направлении значимой пещеры Ручейной. Более того, удалось предположить разрыв (и зоны высокой плотности трещиноватости) к западу от основного массива пещеры, по которым спелеологи пока ничего не нашли. Как пример (Рисунок 4) субвертикальных восходящих плоскостей приводим разрез вдоль линии разрывов 6-2 (см Рисунок 3).



Рисунок 3. Выявленные разрывные нарушения и привязка карты пещер Большой Орешной и Ручейной к дневной поверхности.

1 - массивы пород; 2 - полости; 3 - разрывы, их номера (названия в тексте) и соответствующие им линейные структуры пещеры; 4 - предполагаемые разрывы; 5 - разрывы растяжения; 6 - площадка геофизических измерений; 7 - разрыв S-W; 8 - поверхности выравнивания; 9 - горизонтали с отметками высот.

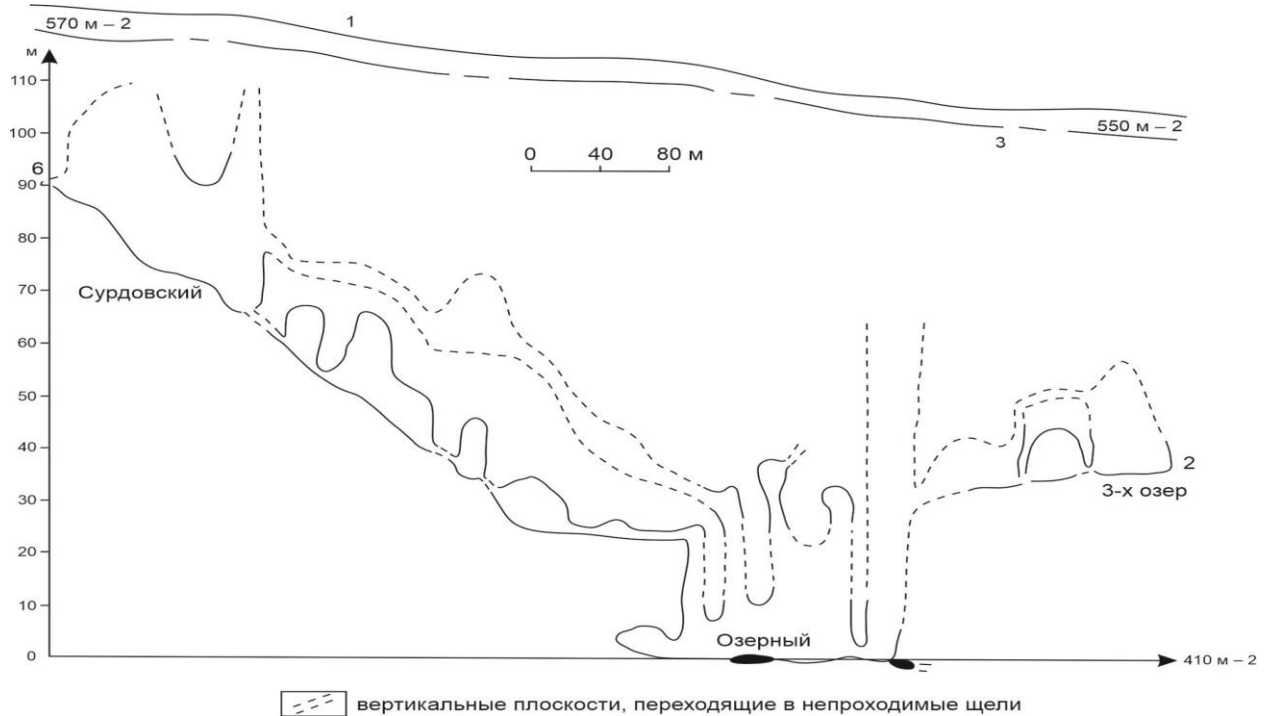


Рисунок 4. Разрез (вид сбоку) в породах по линии разрывов 6-2 в пещере Большая Орешная.

1- линия поверхности, 2- абсолютные высоты, 3- линия разрыва в масштабе.

Аналогичные наблюдения произведены на массиве Баджейской пещеры, в результате чего в зонах сгущения трещиноватости (Рисунок 5) был раскопан вход в грандиозную пещеру Дудинскую (картографирование в 2022-24 г. показало более 41 км ходов с пропастями и решётчато-коробчатым лабиринтом). В пещерах Баджейского массива нами были обнаружены и подтверждены множественные восходящие (часто купольно-тупиковые) субвертикальные плоскости (Булычов, 2024). Посредством восхождений по стенам разрывов (высотой до 90 м) обнаружены близко лежащие к поверхности системы.

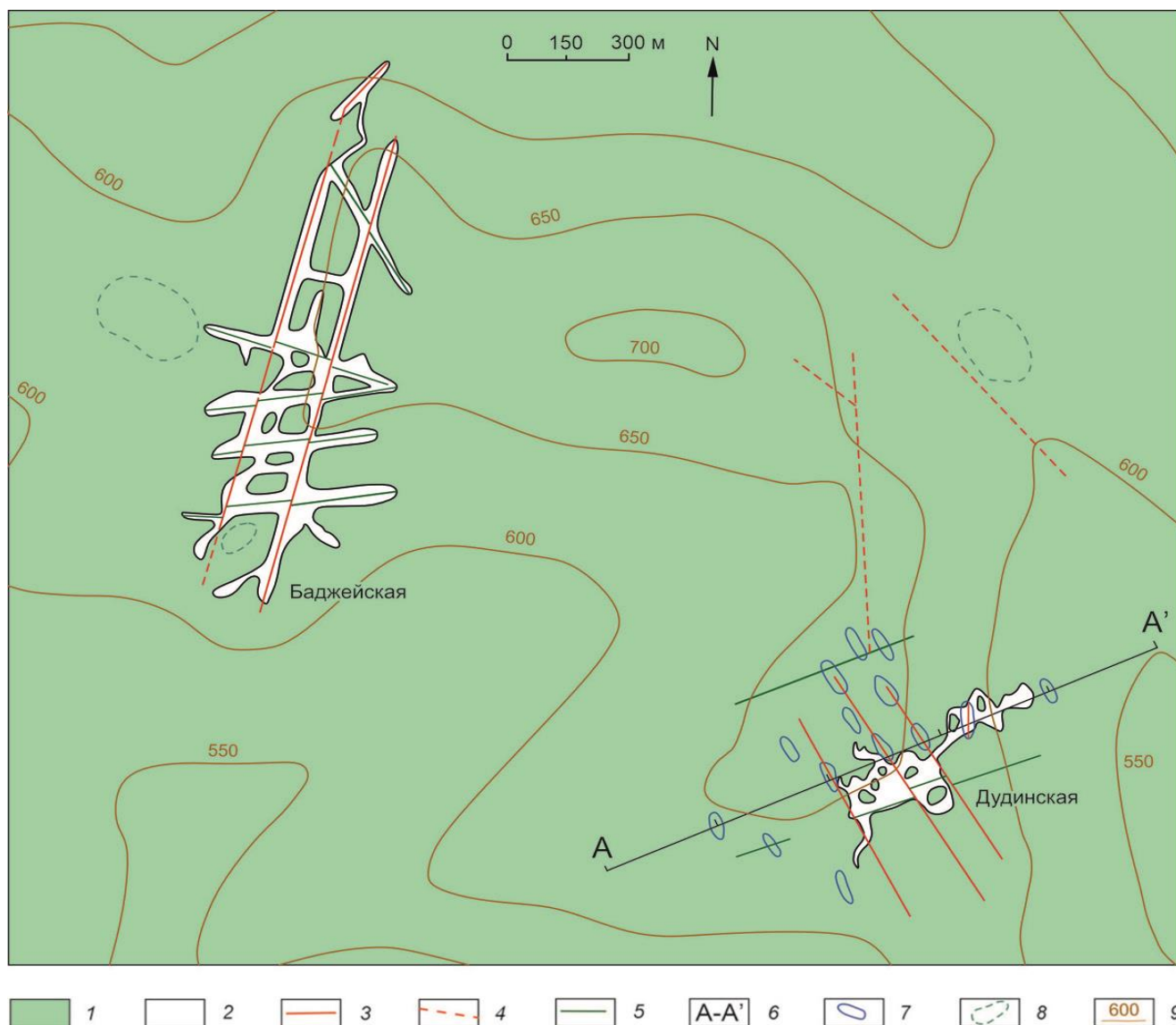


Рисунок 5. Выявленные разрывы и привязка пещер Баджейская и Дудинская к дневной поверхности. 1 - массивы пород; 2 - полости; 3 – разрывы и соответствующие им линейные структуры пещеры; 4 - предполагаемые разрывы; 5 - разрывы растяжения; 6 - профиль измерений трещиноватости; 7 – зоны повышенной плотности трещиноватости; 8 - локальные плато; 9 - горизонтали с отметками абсолютных высот дневной поверхности.

Породы (Геологическая карта..., 1962) дислоцированы разрывами растяжения, являющимися оперяющимися структурами системообразующих разломов (Рисунок 6) правостороннего кинематического типа (Новиков, 1998).

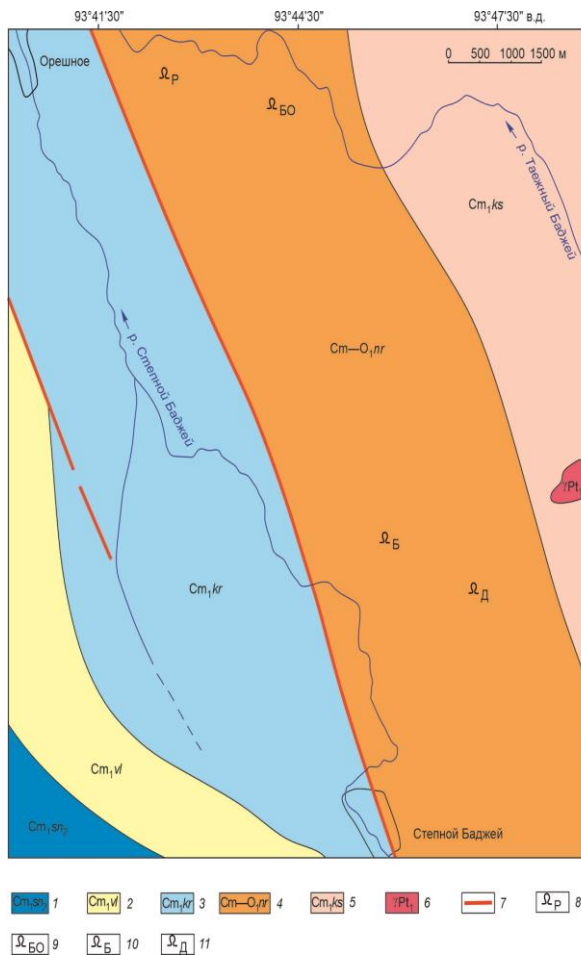


Рисунок 6. Геолого-тектоническая схема Баджеевского участка.

1 - массивные доломиты; 2 - глинистые сланцы; 3 - доломиты; 4 - нарвская толща: известково-алеувитовые конгломераты, валуны - доломиты, галька - кварцевый кремнь, плагиоклаз; 5 - кварцевые песчаники; 6 - микроклиновые гранито-гнейсы; 7 - разломы; пещеры: 8 - Ручейная, 9 - Большая Орешная; 10 - Баджеевская; 11 - Дудинская.

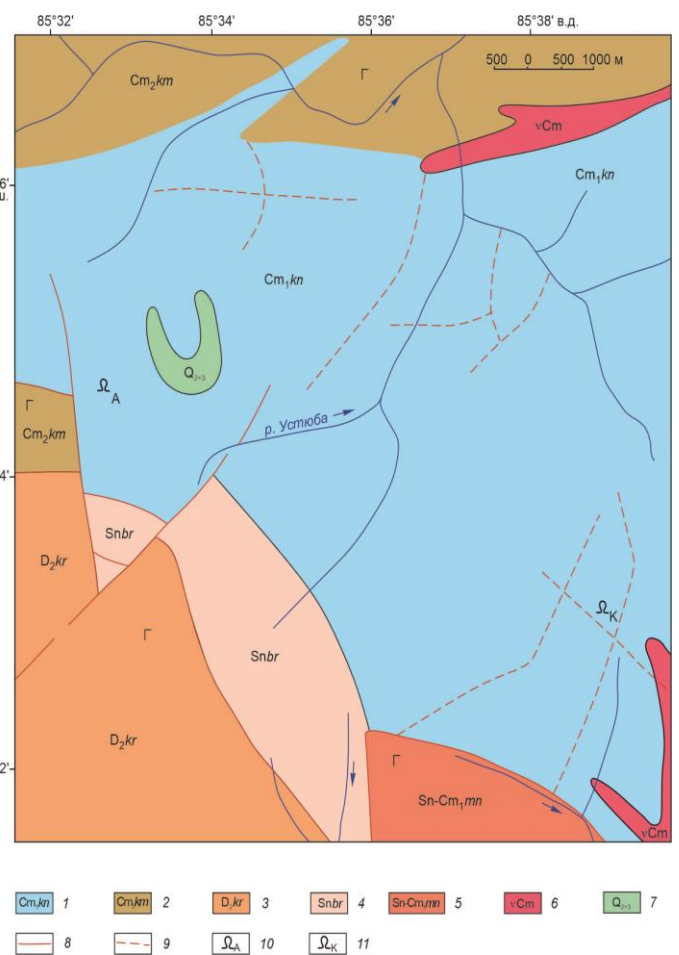


Рисунок 7. Геолого-тектоническая схема района пещер Алтайской и Кек-Таш (Геологическая карта..., 1977).

1 - мраморизованные известняки, кварциты, 2 - кислые эффузивы, 3 - кислые эффузивы, 4 - мрамора, 5 - терригенно-вулканогенные породы, 6 - гранитоид, 7 - наносы коллювия, пролювия, 8 - разломы, 9 - зоны трещиноватости, 10 - пещера Алтайская, 11 - пещера Кек-Таш.

Пещера Алтайская - наиболее протяжённая в Горном Алтае: суммарная длина ходов 4740 м (Булычов, 2019), к тому же она имеет самое сложное вертикальное строение среди всех пещер Дальнего Востока и Сибири, находится на Камышлинском участке (абсолютная высота входа 870 м), в 25 км от деревни Камлак. Из геолого-тектонической схемы района видно (Рисунок 7), что нижнекембрийские мраморизованные известняки каянчинской свиты (мощность 400 - 500 м), в которых заложена пещера, обрамлены кислыми эффузивными, терригенно-вулканогенными породами, гранитами и разломами право-сдвигового типа с оперяющимися структурами растяжения (Новиков, 1998). Основные первопрохождения, топосъемка и карта с разрезом-разверткой выполнены автором диссертации (Булычов, 2019). По результатам структурно-тектонического профилирования (Булычов, 2024) и стереоскопического

дешифрирования аэрофотоснимков на поверхности выявлены признаки разрывов (Отчёт, 1986) с простираниями ориентировочно 0° , 45° , 315° , что коррелируется с основными направлениями, по которым заложена (Рисунок 8) пещера. Это подтверждает очевидный вклад тектоники в спелеогенез. В пещере выделяются четыре субгоризонтальных уровня по глубине: приповерхностный, два промежуточных вдоль древних русел рек и самый молодой и

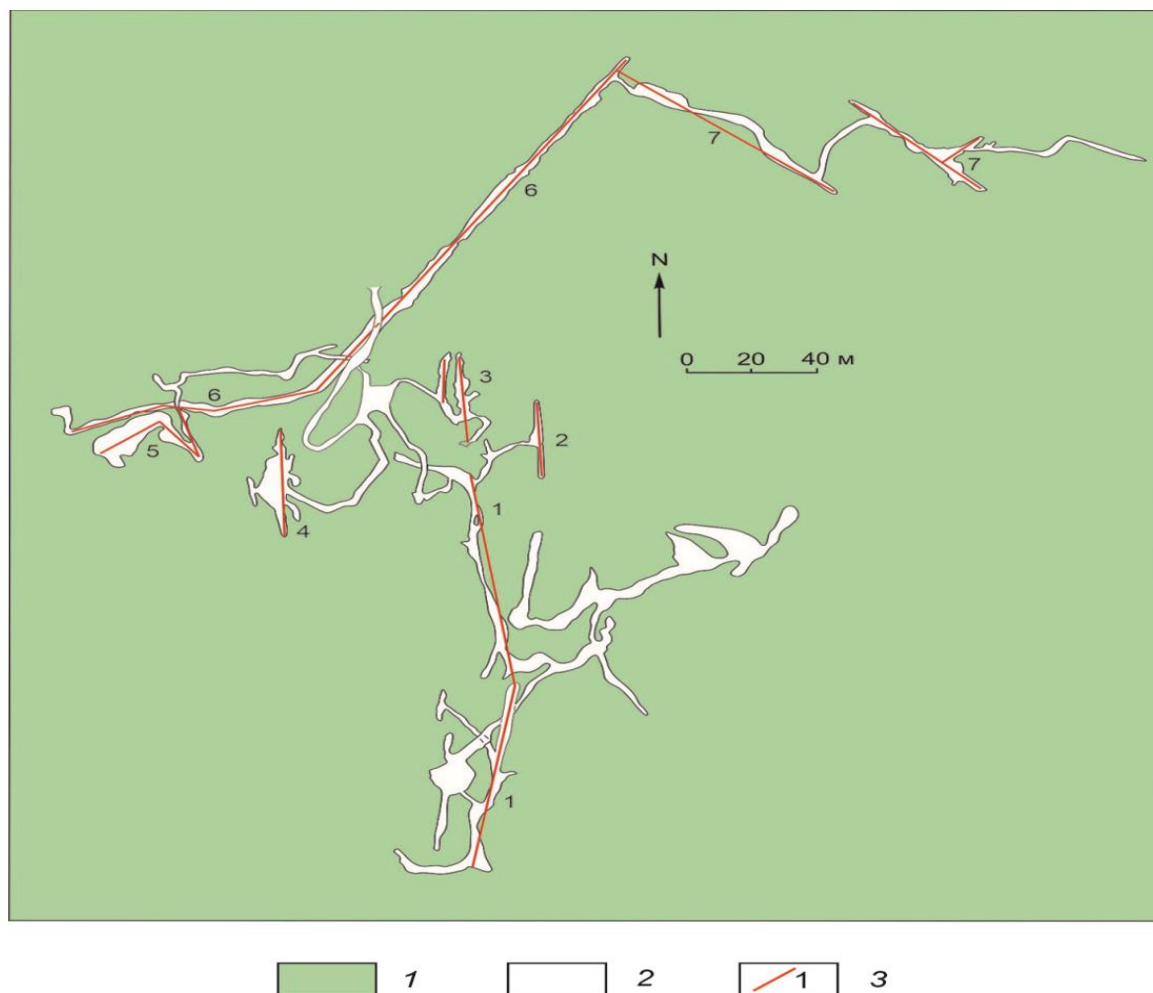


Рисунок 8. Схема пещеры Алтайская (вид сверху) и прослеженные разрывные нарушения, по которым развита пещера.

1 - массивы пород; 2 - полости; 3 - разрывы пещерных систем, их номера: 1 - Верблюд - Через Тернии к Звёздам, 2 - Али-Баба, 3 - Гиганты, 4 - Каскад, 5 - памяти Ольги, 6 - Веселуха - Теплая Речка, 7 - Старая Речка - Купола.

глубокий с современной рекой. Яркая особенность пещеры – это множество восходящих плоскостей (Рисунок 9), соединяющих нижние уровни с верхними (более древними), и три широкие (10-20 м) плоскости до 160 м высотой, упирающиеся в тупиковые купольные формы (Булычов, 2024) с кварцевой коркой, перекрытые сверху дислоцированным слоем плотных известняков и доломитов, при этом до дневной поверхности остаётся 15-40 м. С помощью метода сейсмoeлектрического эффекта (Sorokina, Boulytchov, 2001) была выявлена пропасть Гигантов, перекрытая 15-м толщей пород.

Пещера Кек-Таш расположена на Камышлинском участке, что и пещера Алтайская, в 17 километрах от деревни Камлак, заложена в плотных мраморизованных известняках нижнего кембрия. Суммарная длина ходов 3200 м, абсолютная высота входа 890 м. Пещера является

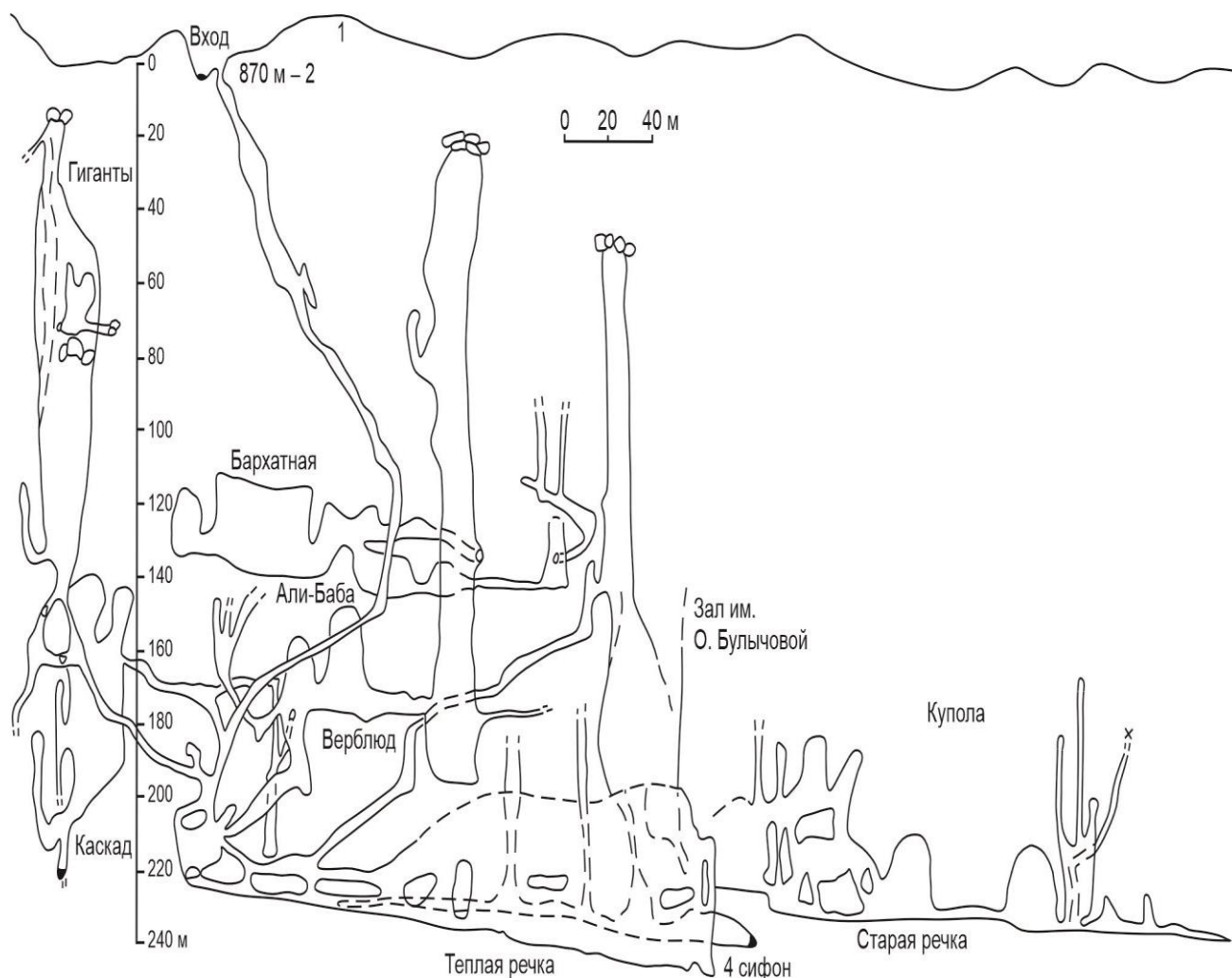
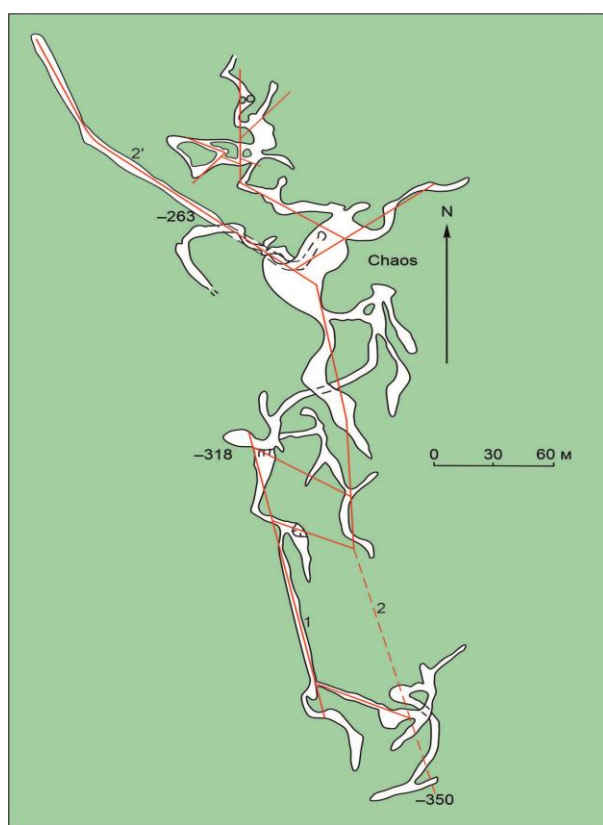


Рисунок 9. Разрез (вид сбоку) в породах пещеры Алтайская. 1- линия поверхности, 2- абсолютная высота.

глубочайшей в Сибири (Boulytchov, 1999, Атлас пещер..., 2019). На поверхности выявлены признаки разрывов (Отчёт, 1985) и сгущения трещиноватости с простираниями 0^0 , 110^0 , 230^0 , что коррелируется с направлениями разрывов, выявленных внутри пещеры (Рисунок 10), и также подтверждает очевидный вклад тектоники в спелеогенез. Большинство восходящих плоскостей (Рисунок 11) заложено на оперениях визуально отслеживаемых разрывных нарушений. Многие восходящие плоскости, как и в пещере Алтайской, упираются в куполообразные тупики.

Согласно геолого-тектонической схеме (Рисунок 7) и простиранию разрывных нарушений внутри пещер, плотные мраморизованные известняки, слагающие исследуемые пещеры, дислоцированы разрывами право-сдвигового кинематического типа (Новиков, 1998), оперяющимися от системообразующих разрывов.



1 2 3 4 5

Рисунок 10. Схема пещеры Кек-Таш (вид сверху) и прослеженные разрывы, по которым развита пещера. 1 - массивы пород; 2 - полости; 3 - разрывы пещерных систем, их номера: 1 - Морской Проспект, 2' - Кричащий; 4 - предполагаемый разрыв и его номер; 5 - отметки глубин пещеры, м

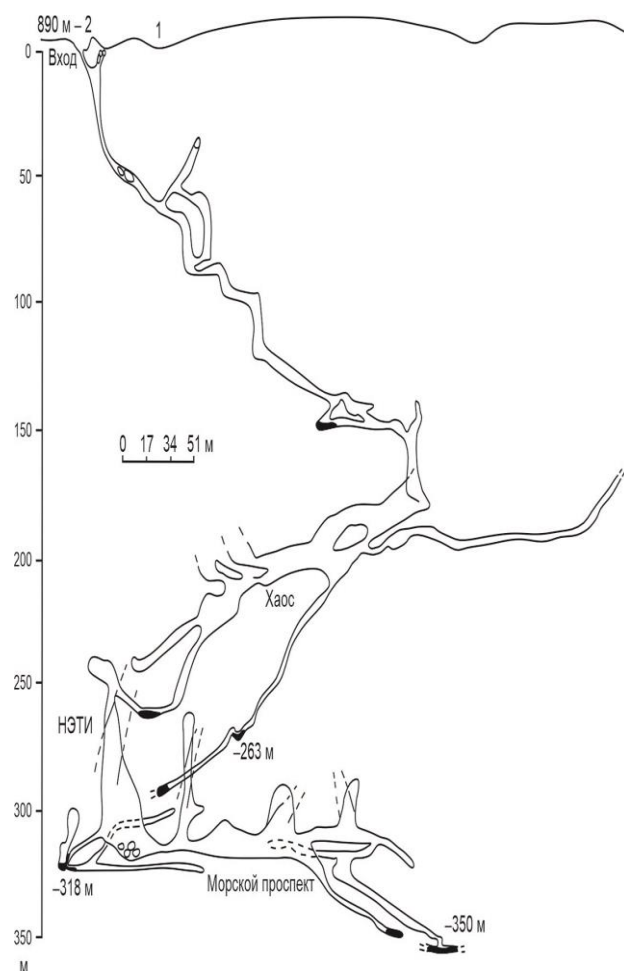


Рисунок 11. Разрез (вид сбоку) в породах пещеры Кек-Таш.

1- линия поверхности, 2- абсолютная высота

ВТОРОЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Основным признаком формирования полостей в слабокарстующихся породах является их предопределенность зонами разрывов малой ширины и большой протяженности, по которым по латерали, вверх и вглубь развивается спелеогенез, в связи с чем предложен метод прогноза новых полостей, основанный на поиске продолжения плоскостей вдоль зон разрывов.

В глубинах пещер раскрытые тектонические нарушения практически всегда прерываются глыбовыми завалами, непроходимыми пробками, щелями, которые необходимо преодолевать по верхам стен или раскапывать проходы под завалами, после чего визуальное часто оценить проблематично, где оказался исследователь: проник в новую систему тектонических нарушений или находится в простирации исходного разлома. Особенно сложно с идентификацией систем тектонических нарушений в запутанных трёхмерных лабиринтах конгломератовых пещер - гигантов (Большой Орешной и Дудинской).

Для более детального выявления систем разрывов оказалось необходимо инструментальное картографирование. Существуют современные методы картографирования пещер (Kemper, Bauer, 2017), но они оказались либо слишком дорогими, либо трудоемкими. В наших измерениях применялся лазерный дальномер Leica HDS 7000 (с плато со встроенным компасом и blue tooth) или лазерная рулетка Bosch GLM 50C. Использовалась программа Surverx-Win 32 компании Inkscape (Golicz, 2017) для обработки данных измерений внутри пещер; изображения выполнены в программе “therion”. Для визуализации применены расширения .3D, .loch, .png. Вращение изображения .loch в 3-D пространстве (Рисунок 12, 13) позволяет выявлять плоскости или их системы, соответствующие разрывным нарушениям. Проанализированы тысячи срезов изображений по пещерам Дудинской и Большой Орешной.

Признаки дизъюнктивных нарушений центральной части пещеры Дудинской проявляются в

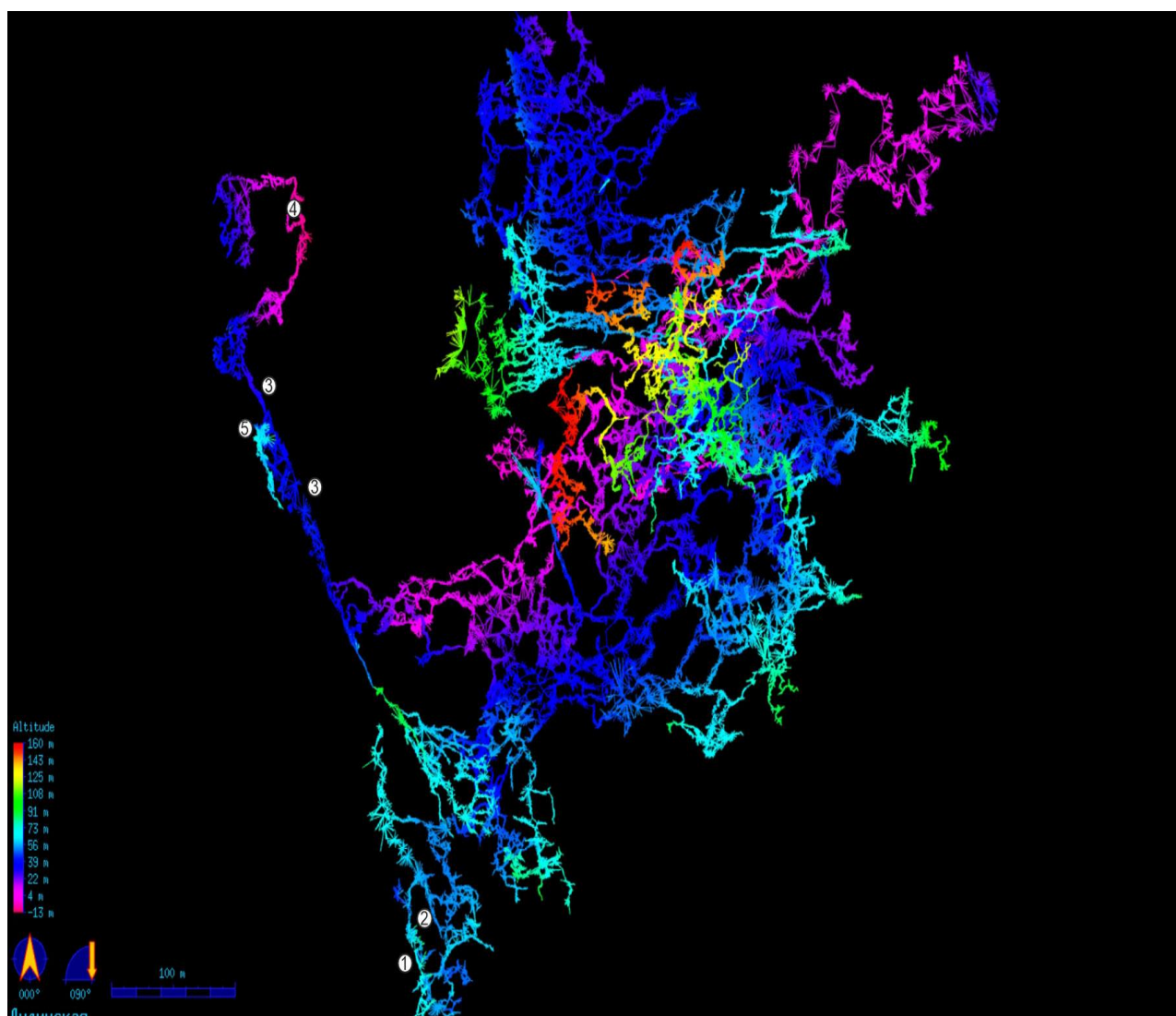


Рисунок 12. Скрин-шот (.png) из программы “therion” (.loch) пещеры Дудинской: вид сверху. Разрывы: 1- Стрела, 2- Колокол, 3- тропа Хошимина, 4- Крокодила, 5- Заманье.

зонах дробления и линейных структурах, расположенных ближе к дневной поверхности, зато глубоко заложенные галереи пещеры (Рисунок 14) развиты по отчётливым тектоническим

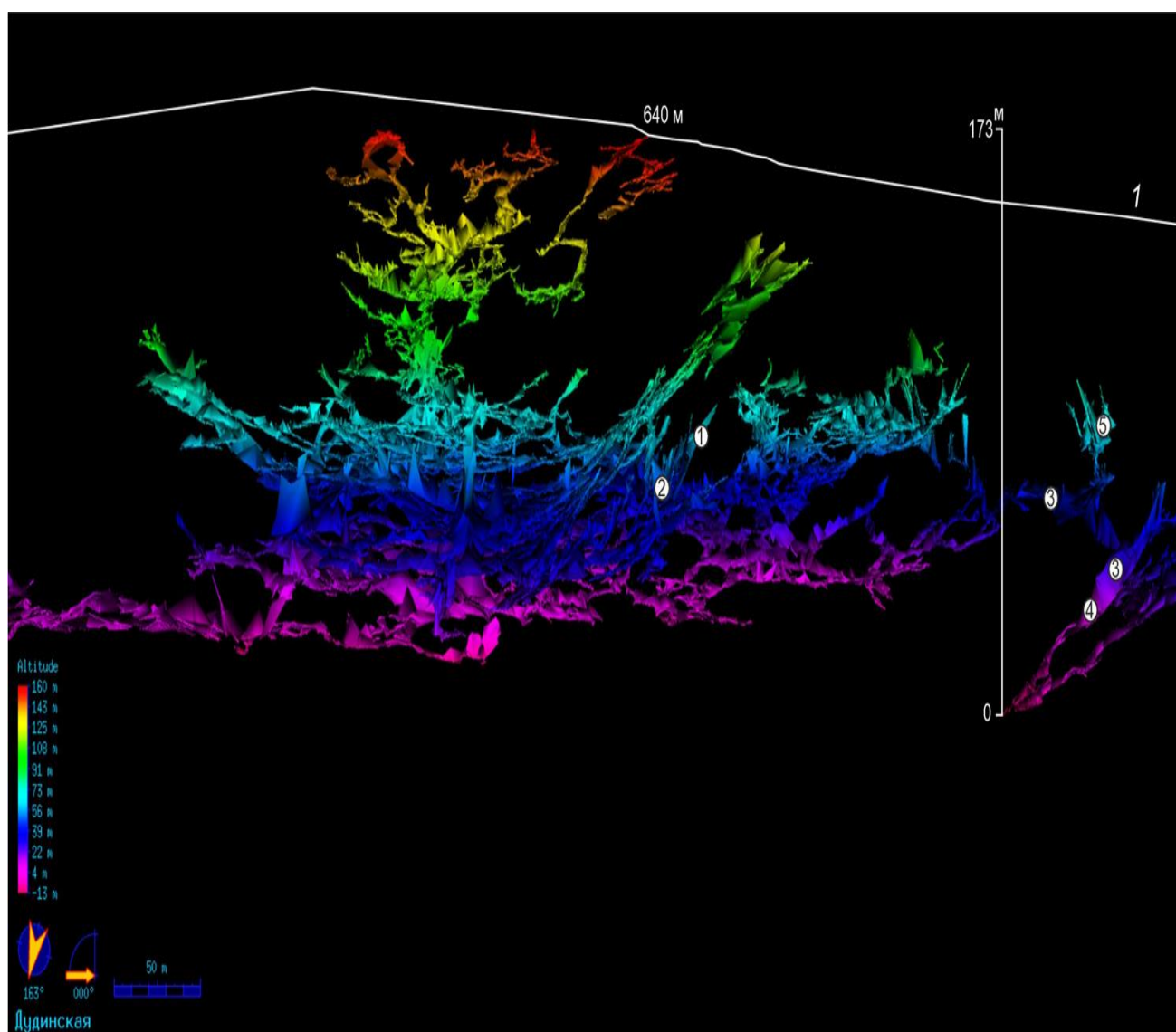


Рисунок 13. Разрез пещеры Дудинской. Разрывы: 1- Стрела, 2- Колокол, 3- тропа Хошимина, 4- Крокодила, 5- Заманье. 1- линия поверхности, 640м – абсолютная высота входа, 0-173м – масштабная линейка.

разрывам (1- Стрела, 2 – Колокол, 3 - тропа Хошимина), не выявленным анализом данных с поверхности. Достигнутая высота стен, приуроченных к разрывам (топосъемка после восхождений) оказалась от 20 до 80 м, длина от 90 до 250 м, ширина от 0,5 м до 5 м.

Частично сеть линейных структур пещеры Большая Орешная выявлена по изображениям .losh (Рисунок 15), но большинство продолжений разрывов обнаружено в результате прохождения скалолазанием стен вверх и расширения горизонтальных узостей вдоль потолков объёмных гrotов. Достаточно иногда выявить единичную плоскость разрыва, чтобы вдоль нее прогнозировать и совершать открытие новых пещерных систем. По данным топосъемок наших экспедиций (рук. Булычев А.А.) и Красноярских спелеологов (Баринов А.П., Прохоров В.) в пещере выявлены разломы 1-8 (Рисунок 3), не идентифицируемые с дневной поверхностью из-за сильной задернованности склонов массива.

Разрывы в пещерах Алтайская (Рисунок 8) и Кек-Таш (Рисунок 10) также выявлены после подземного картографирования: лазерной рулеткой, где это было возможно, или



Рисунок 14. Схема пещеры Дудинская (вид сверху) и прослеженные разрывы, по которым развита пещера.

1 - массивы пород; 2 - полости; 3 - разрывы, их номера (названия в тексте) и соответствующие им линейные структуры пещеры; 4 - разрывы растяжения; 5 - горизонтали с отметками абсолютных высот дневной поверхности.

полуинструментальной съёмкой в крайне труднодоступных местах.

Корреляция сети разрывов с картой пещеры даёт шанс прогнозирования и открытий значительных полостей, вместе с тем появляется возможность обнаружения зон аргиллизации по разрывным нарушениям. В верхней части плоскости разрыва 8 (Рисунок 3) нами открыта система Стрем-Застрем, подходящая близко (3-5 м) к дневной поверхности. В южной части плоскости разрыва 4 открыта значительная система НГУ. Все верхние уровни пещеры Алтайской обнаружены восхождениями по плоскостям разрывных нарушений, но некоторые остаются не исследованными. В пещере Кек-Таш по простираию разрыва 2' (Рисунок 10) открыта система Кричащая, по разрыву 2 это предстоит сделать. Таким образом, поисковый признак - зоны сгущения трещиноватости (Рисунок 5) и плоскости разрывных нарушений (Рисунок 8). Морфологический признак на поверхности - резкий изгиб изолиний горизонталей в массивах (Рисунок 3, 5).

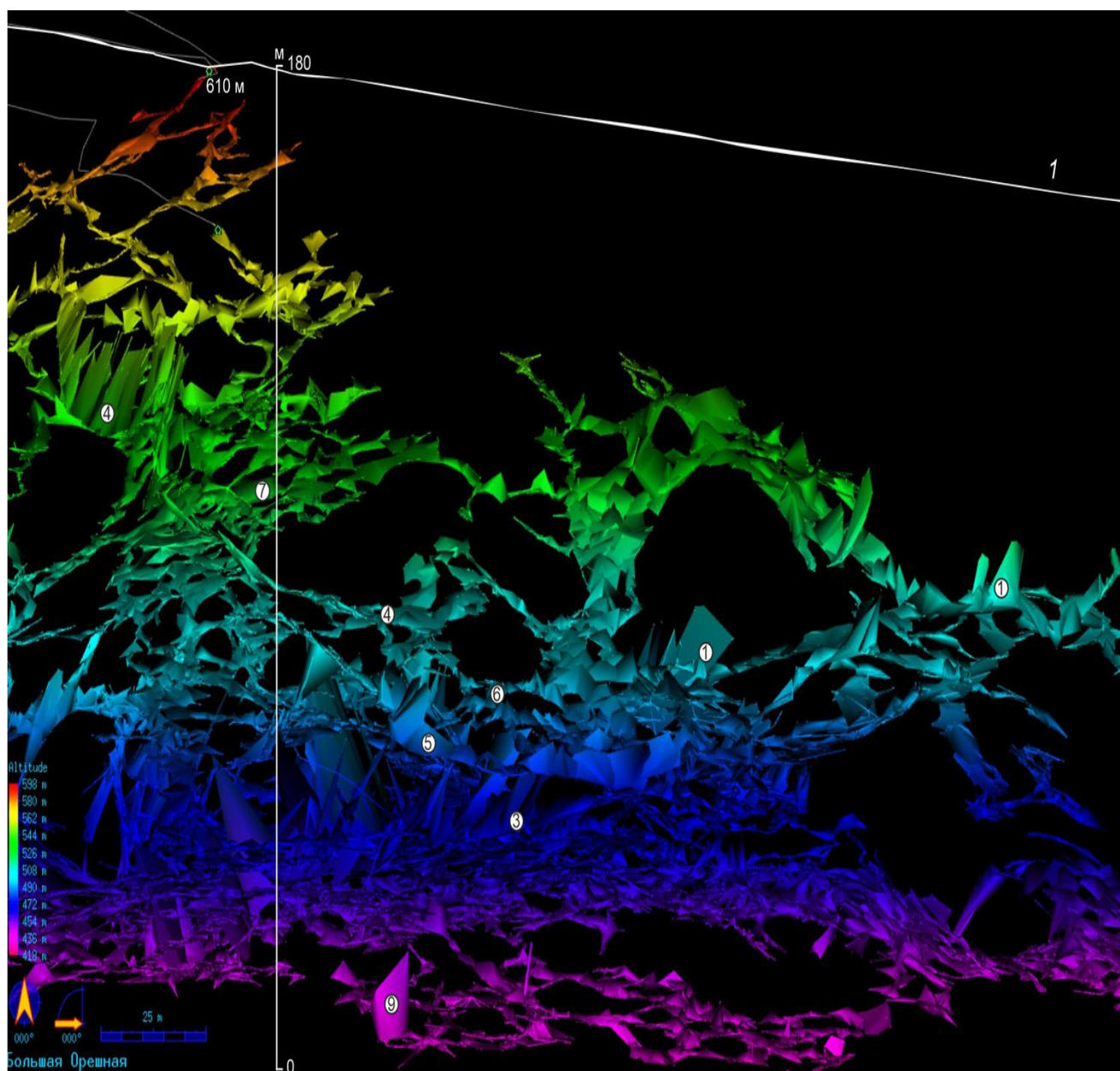


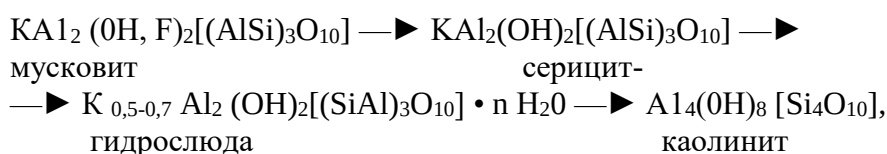
Рисунок 15. Разрез пещеры Большая Орешная. Разрывы: 1- Внеземная Галактика, 3- Каторжный, 4- НГУ, 5- Колокольный, 6- Сурдовский, 7- Проходной, 9- Длинный. 1- линия поверхности, 610м – абсолютная высота 2-го входа, 0-180м – масштабная линейка.

ТРЕТЬЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Образование крупных полостей в слабокарстующихся породах заключается в том, что вдоль зон разрывных нарушений малых амплитуд смещения происходил процесс аригиллизации с последующим выносом глинистой компоненты грунтовыми водами, что объясняет решетчато-коробчатую морфологию пещер. Выделено 3 этапа: а) формирование зон дробления, б) проработка субстрата зон разрывов растворами (аргиллизация) с образованием аргиллизированных пород, в) частичный вынос аргиллизитов грунтовыми водами в сторону разгрузки пещер, в процессе чего формируются объёмные полости.

Объемные полости и обилие глины, зафиксированное в пещерах в слабокарстующихся породах, механизм образования которой оставался до конца неясен, навели на идею о процессе близповерхностной аргиллизации в формировании значительных полостей.

В зонах разрывов в конгломератах и гравелитах происходит процесс аргиллизации: метасоматическое замещение полевых шпатов на глинистый субстрат аргиллит (Волостных, 1972), или аргиллизит (Дворник, 2020). В процессе участвуют низкотемпературные глубинные эманации - газы: CO_2 (95%), H_2S (3%), H_2CO_3 (2%), поступавшие с глубин по крутопадающим разломам фундамента (Херасков, 1958, 1963). Двуокись углерода при соединении с водой образует кислоту H_2CO_3 , которая является очень агрессивным агентом при коррозии пород, в том числе известняков и мраморов: $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$, причём скорость реакции при гипогенном спелеогенезе значительно возрастает в сравнении с классическим карстогенезом (Palmer, 1995), то есть в коррозии принимает участие низкотемпературный гидротермальный процесс, при этом примеси слюды, полевых шпатов, окремнённых известняков и кварцитов в зонах глубинных разломов аргиллизуются по низкотемпературному метасоматозу (Казицын, 1979):



что также характерно для аргиллизации плагиоклазов, слюд в конгломератах.

Под низкотемпературной аргиллизацией, или гидротермальной «глинизацией», понимается процесс слабокислотного выщелачивания, протекающий в условиях малых глубин с образованием глинистых продуктов. Процесс этот осуществляется под воздействием растворов, возникающих при смешении кислотных дериватов гипогенных эманаций с подземными водами, и протекает в интервале глубин одного километра до дневной поверхности при температурах 200°C и ниже (Разумова, 1977). При гидротермальной глинизации поглощается огромное количество воды, а углекислота является одним из главных компонентов аргиллизующих растворов (Волостных, 1972).

При приближении к земной поверхности в связи с понижением температур и разбавлением гидротермальных растворов вадозными водами количество и активность щелочей постепенно убывает и, когда отношение K^+ и H^+ достигает низких значений, происходит гидротермальная низкотемпературная аргиллизация горных пород (Мейер, Хемли, 1970), т.е. низкотемпературное метасоматическое выщелачивание с образованием глинистых продуктов. Таким образом, интенсивность гидролиза возрастает от высокотемпературных стадий к низкотемпературным. При этом в новообразованных продуктах (Казицын, 1979) последовательно увеличивается относительное количество гидроксильных групп и

уменьшается количество калия. Метасоматические процессы осуществляются наиболее интенсивно в породах, обладающих большой удельной трещиноватостью и в зонах разломов.

Признаками глинистых метасоматитов зон разложения (трещинные коры) и ареалов их воздействия (площадные коры) являются не пенепленизированные поверхности складчатого фундамента, а осложняющие эти поверхности зоны повышенной деформации в период орогенного этапа развития геосинклинальных областей. Глинистая компонента механически выносится фреатическими водами в направлении разгрузки (Волостных, 1972). Мы считаем важным этот процесс в спелеогенезе в связи с разрывными нарушениями и присутствием изверженных пород в исследуемых районах (Рисунок 6, 7).

Как подтверждение глубинного происхождения полостей по процессу низкотемпературного гидротермального слабокислотного выщелачивания, в нижних частях разрыва «Тропа Хошимина» (галерея Крокодила) в пещере Дудинской, в галерее Кристаллов в районе разрыва НГУ в пещере Большой Орешной обнаружены признаки аргиллизации. Отобраны светло-коричневые - желтоватые аргиллизиты по составу близкие к иллит-сметиту (по результатам рентгенофазового анализа с помощью аппаратуры «Дрон-8») с включениями SiO_2 и полевого шпата, размер зёрен которых не более 0.02 мм (по результатам гранулометрии). Водородный показатель в пробе фреатических вод в период подтопления, не связанного с водами с дневной поверхности, измеренный автономным рН-метром Ohaus ST300-B, оказался около значения 6.0. В пещере Большая Орешная восходящие плоскости нередко упираются в глухие тупики купольной формы, что, вероятно, указывает на их субэральное происхождение согласно (Klimchouk, 2007). На потолках нижних уровней пещеры Дудинской видны как отдельные, так и каскадами уходящие вверх купольные формы субэрального растворения и «подвешенные» меандры в обширных гротах. В работах (Palmer, 1995, Hill, 2000) показано, что подобные обширные полости могут образовываться только при участии низкотемпературных гидротермальных растворов и их конденсирующихся паров, так как агрессивность только вадозных вод, инфильтрирующих с поверхности массива, низка, и их эффективности недостаточно для механического суффоза (Истомина, 1957). В разрыве Стрела зафиксированы жильные проявления и гидротермальные кристаллы скаленоэдров кальцита, найдены гнезда аргиллизита в коренной породе, заместившего плагиоклаз, что также свидетельствует о процессе «глинизации» согласно (Волостных, 1972).

В пещере Алтайской обнаружены признаки аргиллизации (рН 6) вдоль разрывов в нижних частях пропастей Гигантов и Каскад, что соответствует наблюдениям (Волостных, 1972) о проявлении аргиллизации в виде смещения рН растворов в кислую среду. В пещере Кек-Таш на дне 56-м колодца НЭТИ автором был пройден узкий полусифон, ведущий к обособленной системе (Boulytchov, 1999) с ручьем 5 л/с, не связанным с гидросетью пещеры. В этой системе

обнаружены признаки аргиллизации (рН 6): цвет пород изменился с голубоватого, характерного для основной части пещеры, на ярко желтый, что соответствует наблюдениям об аргиллизации (Волостных, 1972). Анализ отобранных образцов аргиллита-сметита выявил в них зёрна SiO_2 размером менее 0.01 мм. Восходящие тупиковые плоскости купольной формы также засвидетельствованы в пещерах Алтайской и Кек-Таш, что усиливает версию о гипогенном спелеогенезе согласно (Klimchouk, 2007). Кварцитовая корка может быть объяснена зонограммами аргиллизирующих растворов (Волостных, 1972) и процессами окремнения (Шахов, 1964). Отмечены значительные (мощностью до 3 - 5 м - Boulytchov, 1997) отложения субстрата аргиллита (на 2-м уровне пещер - Старая речка и Морской проспект), не полностью вынесенных фреатическими водами. Частичный вынос зерен аргиллита происходил по внутреннему суффозионному процессу.

Мы считаем важным роль феномена аргиллизации в спелеогенезе в слабокарстующихся породах в связи со сложным геологическим строением района (изверженные породы, разрывные нарушения). Как подтверждение в исследованных пещерах наблюдается множество свидетельств глубинного спелеогенеза в результате низкотемпературной аргиллизации: тупиковые купольные арки (Рисунок 9, 11), висячие меандры, купола на потолках, восходящие тупиковые камеры, изменение цвета пород, сдвиг рН растворов в кислую среду, жильные проявления и гидротермальные кристаллы кальцита, замещение плагиоклаза аргиллитом и т. д.

Современные гипергенные транзитные ручьи, как после гипогенный процесс (Palmer, 1975; Klimchouk, 2007, 2012), развитые по щелевидным полостям и трещиноватости, по сути, “вскрыли” замкнутые глубинные полости, что не противоречит исследованиям (Klimchouk, 2007). Это четвертичный спелеогенез, протекающий по карстово-суффозионному процессу.

Изучение процесса аргиллизации имеет практическое значение: в глинистых породах метасоматического выщелачивания развиты редкометалльные минералы (ниобий содержащий рутил и гематит); на контактах с известняками часто образуются древние никеленосные коры выветривания (Разумова, 1977); в каолинизированных гранитах Приморья - чёрчит и фосфаты цериевой группы, обогащенные европием (Ташилкин, 1969).

Продукты аргиллизации вследствие термальной активности по трещиноватости (Scheuerer et al, 2013) обнаружены в некарстующихся породах (гранитах) пещеры Gobholo (Eswatini), автором автореферата в пещере STM (Mt. Washington, Tuckerman Ravine, NH, USA, длина 150 m, entrance elev. 1230 m) в гранито-гнейсах, в 2023-24 г в пещере Coral в красных гранитах (Franconia Notch, White Mountain Batholith, NH, USA, длина 430 m, entrance elev. 700 m).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формирование крупных пещер в слабокарстующихся породах Алтае-Саянской горной области геоморфологически обусловлено низкогорным рельефом хребтов с широкими слабо расчлененными водоразделами с затрудненным дренажем и глубокими долинами, в которые осуществляется подземный сток. В рассматриваемых пещерах карбонатная составляющая представлена не повсеместно, поэтому, как мы полагаем, основные объемы образовались в результате выноса продуктов аргиллизации. Зоны аргиллизации, в свою очередь, могут развиваться по любому геологическому субстрату: магматическим, осадочным или метаморфизованным породам вне зависимости от их состава.

Нами показано:

1. Морфология пещер, развитых в слабокарстующихся породах, характеризуется решётчато-коробчатой геометрией, что определяется системой трещиноватости вдоль разрывных нарушений малых амплитуд. Основные направления ходов выстраиваются не в субгоризонтальные, а в восходящие (часто купольно-тупиковые) субвертикальные плоскости. Пещеры в слабокарстующихся породах представляют собой системы вертикальных щелевидных полостей, выстраивающихся в системы плоскостей, соответствующим зонам разрывов. В рассмотренных пещерах, как правило, присутствует одно преобладающее направление, вдоль которого фиксируется несколько параллельных протяженных субвертикальных плоскостей разрывов, соединенных короткими плоскостями оперяющих разрывов растяжения.

2. Основной особенностью формирования полостей в слабокарстующихся породах является их приуроченность к зонам разрывов малой ширины и большой протяженности, по которым по латерали, вверх и вглубь развивается спелеогенез, в связи с чем предложен метод открытия полостей, основанный на поиске продолжения плоскостей вдоль зон разрывов.

3. Образование основных крупных полостей в слабокарстующихся породах заключается в том, что вдоль зон разрывных нарушений малых амплитуд смещения происходил (возможно, в олигоцен-миоцен) процесс аргиллизации с последующим выносом глинистой компоненты грунтовыми водами, что объясняет решетчато-коробчатую морфологию пещер. Выделено 3 этапа: а) формирование зон дробления, б) проработка субстрата зон разрывов растворами (смещения восходящих с глубин газов с грунтовыми водами) с образованием аргиллизитов, в) частичный вынос аргиллизита грунтовыми водами в сторону разгрузки пещер, в процессе чего формируются объёмные полости. Как пост глубинный процесс – это современная стадия: вскрытие полостей эпигенными вадозными водами.

Морфологические особенности пещер позволят по-новому взглянуть на перспективы исследования новых значительных полостей в пределах Алтае-Саянской горной области.

Теперь перспективными районами можно рассматривать всю территорию платообразных низкогорий, обрамляющих альпинотипные районы Алтае-Саянской горной области, тем самым данная диссертационная работа вносит вклад в развитие спелеологии в теоретическом и практическом аспектах.

Работы, опубликованные автором в рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК

1. Булычов А.А. Пещеры в слабокарстующихся породах Алтае-Саянской горной области: механизм формирования и морфология // Геоморфология и палеогеография. № 2, 2024. С. 256-273.
2. Boulytchov A.A. Seismic-electric effect method on guided and reflected waves // Physics and Chemistry of the Earth. Journal of EGS, Elsevier. V.25, No 4, 2000. P. 333-336.

Работы, опубликованные в других изданиях

1. Левицкая Ц.М., Булычов А.А., Рабинович Б.И. Методика исследования сейсмoeлектрического эффекта в горных породах. Сб: Геофизические и геодезические методы и средства при поисках полезных ископаемых в Сибири, СНИИГГИМС, 30-36, 1982.
2. Булычов А.А. Исследования глубочайших пещер горного Алтая. Сб: Карст Алтае-Саянской складчатой области и прилегающих территорий, Всесоюзная конференция, Барнаул, 47-48, 1989.
3. Булычов А.А. Морфология и отложения пещеры Алтайской. Сб: Карст Алтае-Саянской складчатой области и прилегающих территорий, Всесоюзная конференция, Барнаул, 53-54, 1989.
4. Булычов А.А. Морфология и отложения глубочайших пещер горного Алтая. Сб: Минералы и отложения пещер и их практическое значение, Всесоюзная конференция, Пермь, 67-68, 1989.
5. Булычов А.А. Крупнейшие пещеры Горного Алтая. Сб: Пещеры, Пермь, №22, 133-134, 1990.
6. Boulytchov A.A. Seismic-electric and tectonic researches of outstanding Altai karst massifs. 30-th International Geological Congress, Beijing, China, v.3, 317, 1996.
7. Boulytchov A.A. Geophysically predicted and discovered large cave emptinesses in Siberia. Proceedings of the 12-th International Congress of Speleology, La-Chaux-de-Fonds, Switzerland, v.5, 89-92, 1997.
8. Boulytchov A.A., Koksharov V.Z. Method of seismic-electric effect used on reflected waves. Annales Geophysicae of EGS, suppl. 1 to v.16, 270, Nice, France, 1998.
9. Boulytchov A.A. Kektash – the deepest cave of Siberia and Big Oreshnaya – the longest one. Stalactite, Bern, Switzerland, No 1, 47-48, 1999.
10. Boulytchov A.A. Exploration of the deepest and longest caves of Siberia. Proceedings of International Congress of Speleologists in Moravian karst, Prague, Czech, 2-4, 1999.

11. Boulytchov A.A. and Koksharov V.Z. Seismic-electric effect experiments in mountain rocks. Extended abstracts of EAGE, Helsinki, Finland, v.2, P175, 1999.
12. Boulytchov A.A. Shallow subsurface cavities revealing by means of seismic-electric effect. EGS General Assembly, Nice, France, Abstract SE103, 2000.
13. Boulytchov A.A. Seismic-electric effect study of mountains rocks. EGS General Assembly, Nice, France, SE33, oral submission, abstract SE088, 2000.
14. Sorokina T.V., Boulytchov A.A. Seismic-electric benchmarking of shallow subsurface horizons and dome cavities. Extended abstracts of EAGE, Amsterdam, Netherlands, v.2, P133, 2001.
15. Boulytchov A.A. Geophysical benchmarking of cave cavities and underground water horizons. Proceedings of the 13-th International Congress of Speleology, Brasilia, Brazil, v.3, 69-72, 2001.
16. Boulytchov A.A. Seismic-electric benchmarking of caves and underground water horizons. Proceedings of “Electron/EM/Magnetics Case Histories” session, SEG 72 Annual Meeting, Salt Lake City, Utah, USA, E35, 2002.
17. Bulychov A.A. Seismic-electric effect experiments on shallow subsurface geological cross-section. Extended abstracts of EAGE, Near surface methods – electromagnetics, Stavanger, Norway, v.2, P098, 2003.
18. Bulychov A.A. Seismic-electric mapping of sub-basalt kimberlites. Extended abstracts of EAGE, London, the UK, P221, 2007.
19. Bulychov A.A., Sorokina T.V. Club of climbers as a basis for training process of cavers. Proceedings of the 16-th International Congress of Speleology, Brno, Czech, v.2, 49-51, 2013.
20. Bulychov A.A., Sorokina T.V. Multi-faceted training of caver-explorer. Proceedings of the 17-th International Congress of Speleology, Sydney, Australia, v.1, 278-284, 2017.
21. Булычов А.А. Многогранная подготовка спортивного спелеотуриста. Сб: Пещеры, вып.42, Пермь, 101-110, 2019.
22. Bulychov A. Tectonic-geomorphologic study of conglomerate caves of Narva's suite. Динамика и взаимодействие геосфер Земли, НИТГУ, Томск, т. 3, 2021, с. 17-20.
23. Bulychov A.A. Speleology: rock-climbing and geomorphologic approach // South Florida Journal of Development (SFJD), ISSN 2675-5459 V.2, No.5, oct./dec., 2021, p. 6864-6881. DOI prefix: 10.46932/sfjdv2n5-039.
24. Bulychov A. Speleogenesis and geomorphology of caves in conglomerate rocks in the Eastern Sayan. 18th Int. Congress of Speleology, Savoie Mont Blanc, France // V. 4 Geomorphology and speleogenesis, 2022, p. 137-140.
25. Bulychov A.A., Novikov I.S., Bulychova M.A. Large non-karst caves of the Altai-Sayan mountain region: morphology and genesis // South Florida Journal of Development (SFJD), ISSN 2675-5459 V.5, No.10, oct./dec., 2024, p. 1-17. DOI prefix: 10.46932/sfjdv5n10-035.