

6. *Аблаев А.Г., Тащи С.М., Васильев И.В.* Миоцен Ханкайской впадины Западного Приморья. Владивосток: Дальневост. кн. изд-во, 1994. 168 с.
7. *Тащи С.М., Аблаев А.Г., Мельников Н.Г.* Кайнозойский бассейн Западного Приморья и сопредельных территорий Китая и Кореи. Владивосток: Дальневост. кн. изд-во, 1996. 150 с.
8. Сейсмоструктурная и сейсмическая районирование Приамурья. / Под ред. Николаева В.В. и др. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1989. 128 с.

ТИГ ДВО РАН,
ТОИ ДВО РАН

Поступила в редакцию
20.08.95

GEOLOGIC-GEOMORPHOLOGIC DEVELOPMENT OF PRITUMANGANIE (THE SOUTHERN PART OF FAR EAST) DURING CENOZOIC PERIOD AND ITS COAL-BEARING PROPERTIES

S.N. TASCHI, A.G. ABLAYEV

Summary

Geological-geomorphological development of Tumangan river basin during Cenozoic period may be divided into fore stages: Paleocene-Eocene, Eocene-Oligocene; Miocene and Pliocene-Quaternary. All stages had similar consequences of events: fracture effusion of basalt, terrigenous sedimentation, effusion of acid/intermediate lavas, stratigraphic discontinuations. Coal accumulation happened in Eocene and Miocene. In Late Pliocene-Quaternary time the sedimentation stopped, the basin of Japan Sea expanded, differentiated tectonic movements took place and three geomorphological levels were formed.

УДК 551.435.84(571.51/.52)

© 1999 г. А.Г. ФИЛИППОВ

ГЕНЕЗИС БОТОВСКОЙ ПЕЩЕРЫ

Введение

Ботовская пещера – один из ярких примеров лабиринтовых пещер, сформировавшихся в закрытых гидрогеологических условиях. Она находится в пределах Среднесибирского плоскогорья, на Верхнеленском высоком закарстованном плато с абсолютными отметками 900–1100 м. Координаты пещеры: 55°18' с.ш., 105°21' в.д. Входы расположены в скальном уступе и в стенке рва отседания в верхней части крутого левого борта р. Боты – левого притока р. Лены, в 70 км ниже по течению пос. Жигалово. Относительное превышение пещеры над руслом р. Лены 310 м.

Верхнеленское плато выработано в моноклинальных пологопадающих (2–10°) на север морских карбонатно-терригенных породах ордовика. Оно сильно расчленено крутосклонными речными долинами глубиной до 400 м. В нижних частях склонов долин обнажаются морские карбонатные и терригенные породы среднего и верхнего кембрия (рис. 1).

Морфология пещеры. Пещера представляет собой субгоризонтальный двухмерный сетчато-полигональный лабиринт (рис. 2), выработанный в толще известняков мощностью 6–12 м. Типичным является развитие ходов по вертикальным трещинам, наличие многочисленных тупиков. В изученной части пещеры преобладают ходы субширотного (90°–100°) направления (33%). Протяженность ходов субмеридионального направления (0°–10°) 17,4%, юго-западного – северо-восточного (30°–40°) – 11%. Ходы других направлений имеют подчиненное значение. Таким образом, пещерные ходы унаследовали преимущественно ортогональную систему трещиноватости, в меньшей степени – трещиноватость северо-восточного направления (рис. 2). Пещера одноярусная на большей части, лишь изредка участки ходов разветвляются на два канала, расположенных один под другим и разделенных слоем песчаника.

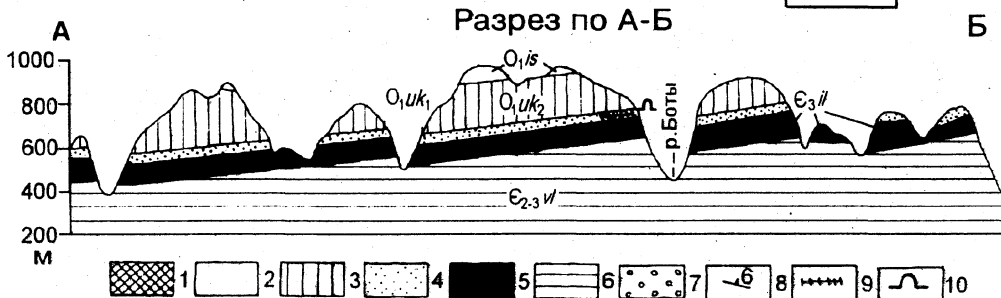
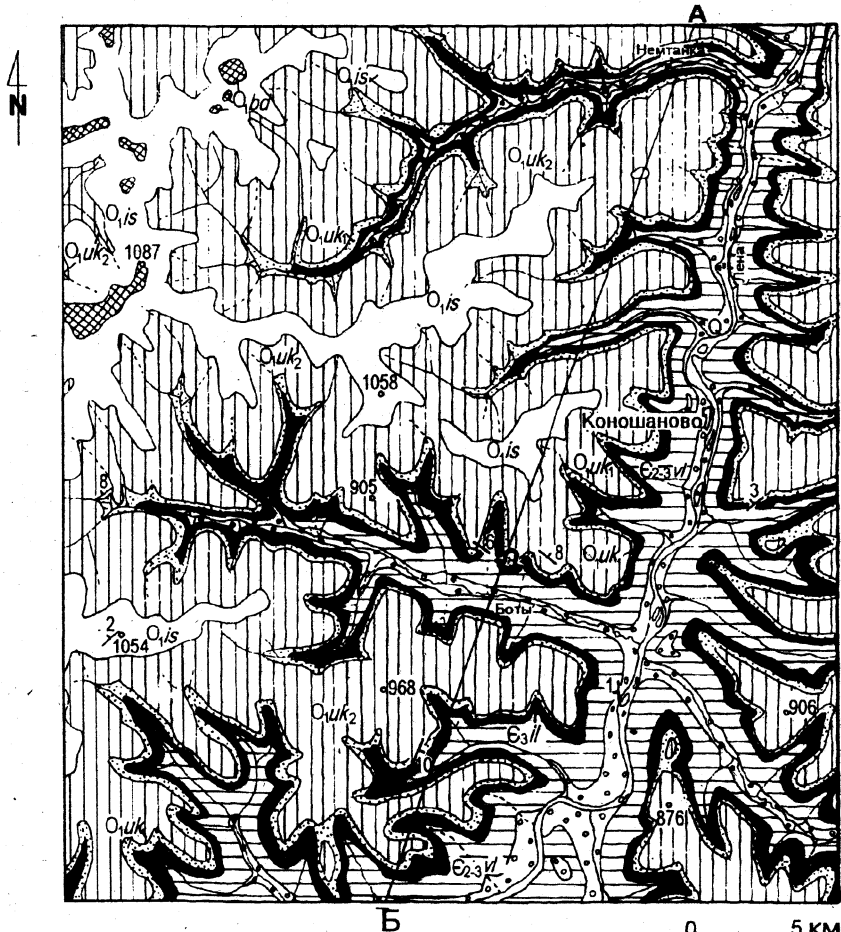


Рис. 1. Геологические карта и разрез района Ботовской пещеры

Ордовик: 1 – бадарановская свита: песчаники, алевролиты (O_{1bd}), 2 – ийская свита: песчаники, алевролиты, аргиллиты (O_{1is}), 3 – верхняя подсвита усть-кутской свиты: песчаники, алевролиты, аргиллиты (O_{1uk_2}), 4 – нижняя подсвита усть-кутской свиты: песчаники, известняки, базальные конгломераты (O_{1uk_1}); кембрий: 5 – илгинская свита: песчаники, алевролиты, аргиллиты (E_{3il}), 6 – верхоленская свита: песчаники, алевролиты, аргиллиты, мергели, гипсы (E_{2-3v}); 7 – четвертичный аллювий (Q); 8 – элементы залегания пород; 9 – Ботовская пещерная система на разрезе; 10 – вход в Ботовскую пещеру

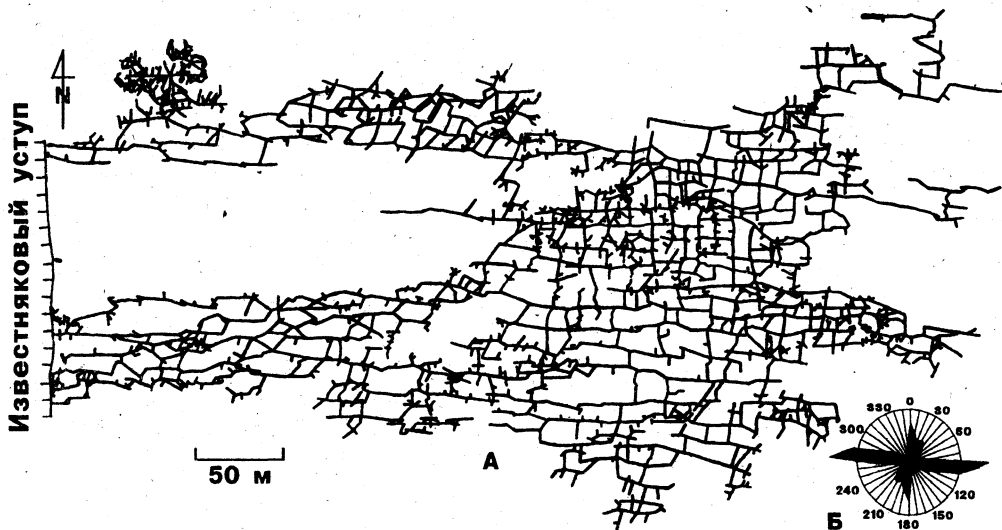


Рис. 2. План Ботовской пещеры на начало 1994 г. (составлен А.Г. Докучаевым по данным Иркутской секции спелеологов и спелеоклуба "Арабика") – А и роза-диаграмма направления ходов – Б

Форма поперечных сечений ходов определяется мощностью слоя известняка, количеством и толщиной прослоев песчаника. Небольшие каналы (прообраз инициальных полостей) имеют овальную форму, если они целиком выработаны в слое известняка (рис. 3А). В тех случаях, когда потолок канала достигает подошвы вышележащих песчаников (рис. 3Б), он имеет уплощенную форму. При проработке хода вниз до песчаников (рис. 3В) нижняя часть каналов клинообразно сужается вплоть до трещин шириной 1–2 см, причем песчанниковые стенки, как правило, осложнены расширениями. Выше кровли известняков наблюдаются также зияющие щели, либо расширения неправильной формы, образующиеся за счет выветривания и выкрашивания песчаников.

Для хорошо проработанных ходов коридорообразной формы характерны вертикальные, слабоизвилистые стенки, выработанные в известняках, которые только при пересечении слоев песчаника осложняются изометричными выступами (рис. 3Д, Е, Ж). Во многих галереях, где потолки ходов сложены известняками, развитие каналов по вертикали не дошло до нерастворимой кровли (рис. 3А, В, Ж).

Характерная особенность коридорообразных ходов – резкие расширения – ниши в их основании, заложившиеся над и между слоями песчаника (рис. 3Е). Во многих случаях они погребены заполнителем в полу галерей.

Морфометрия. Протяженность заснятой части пещеры на 1 марта 1996 г. составляла 23 км, амплитуда – 12,5 м. Максимальные высота и ширина ходов были соответственно 12,5 и 10,0 м, средние 2 и 2,9 м. Площадь – 66700 м², объем – 104050 м³, плотность каналов – 136 км/км². К 1 марта 1998 г. спелеоклубом "Арабика" были засняты уже 39,5 км ходов. На этот момент пещера являлась наиболее протяженной развитой в известняках карстовой полостью на территории России.

Геология. Ботовская пещера заложена в водорослевых известняках нижней подсвиты усть-кутской свиты нижнего ордовика видимой мощностью до 6–12 м, с моноклинальным падением на северо-восток под углом 6–8°. Известняки залегают между морскими песчаниками этой же свиты. В рельефе слой известняков выражен в виде скального уступа с лежащими ниже него блоками отседания, развалами глыб известняка и песчаника. Склоны, сложенные песчаником, более пологие, задернованные, заросшие соснами, тогда как известняковый уступ и каменные развалы шириной в несколько десятков метров обнажены, либо покрыты редкими кустарниками. Уступ четко прослеживается по обеим сторонам р. Боты от устья до верховьев, а также по многочисленным долинам других притоков Лены. Ходы карстовых пещер встречаются не только по левому, но и по правому борту р. Боты.

Вмещающие пещеру карстующиеся породы представлены серыми известняками, нередко песчанистыми, водорослевыми, оолитовыми, реже – мергелистыми, с галькой и (или)

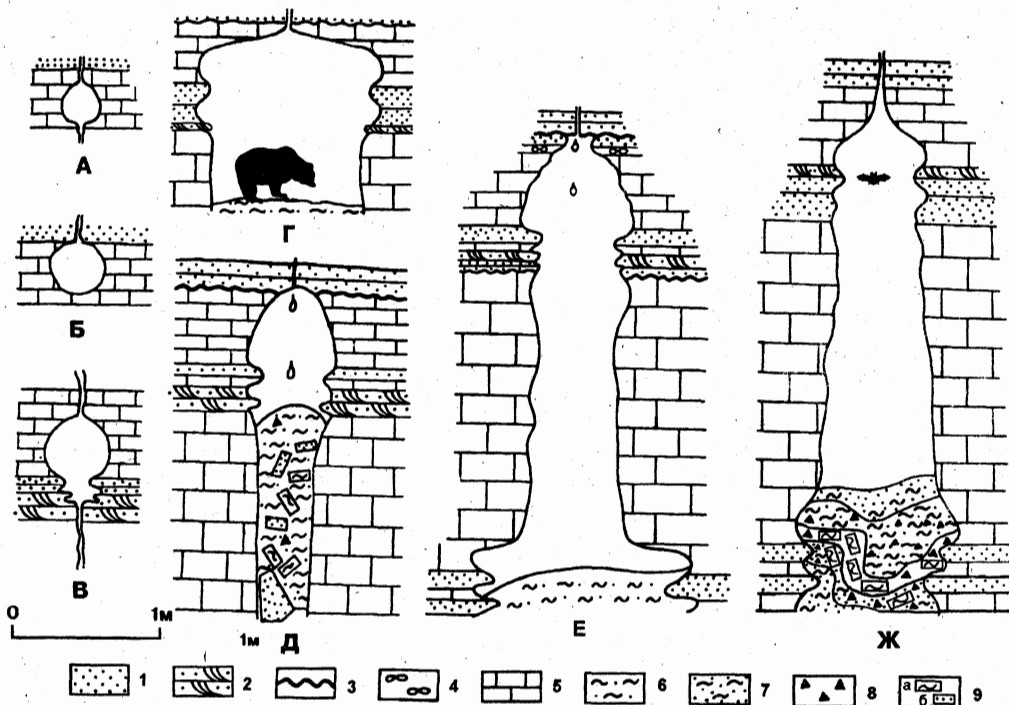


Рис. 3. Поперечные сечения ходов Ботовской пещеры

1 – массивные песчаники, 2 – песчаник с косой однонаправленной слоистостью, 3 – рябь волнения, 4 – песчаник с прихотливыми текстурами взмучивания, 5 – известняк, 6 – суглинок, 7 – супесь, 8 – дресва, 9 – щебень: а – обломки озерных глин, б – обломки песчаников

гравием мергелей. В разных участках пещеры наблюдается разное количество прослоев песчаников и, реже, алевролитов и мергелей. В поперечном сечении ходов прослой песчаника практически во всей пещере образуют характерные горизонтальные выступы. Местами ширина их достигает 0,5 м. Более детальное описание геологического разреза вмещающих пещеру пород приведено нами ранее [1].

Вторичные образования представлены преимущественно тонкодисперсными полигенетическими глинами и обвальными отложениями, местами встречаются пещерные льды и хемогенные образования (кальцитовые и арагонитовые натёки, конденсационные и субкавальные осадки). Немногочисленные органические остатки (скелеты летучих мышей, грызунов, крупных млекопитающих) рассредоточены по всей пещере. Пещерные глины выстилают полы ходов почти повсеместно, за исключением обвальных участков, где лежат обломки вмещающей породы и натёков.

Разрезы, вскрытые шурфами, показывают, что некогда в пещере седиментация происходила в спокойной водной среде, т.е. здесь существовали озера, в которых отлагались тонкослойные плитчатые глины. Однако в большинстве шурфов тонкослойные глины обнаружены лишь в виде мелких обломков среди супесей и песков – продуктов разрушения песчаников. Очевидно, слои или линзы слабодиагенезированных озерных глин были разрушены при просадках заполнителя в нижележащие полости.

В местах сочленения ходов повсеместно встречаются завалы из плит песчаников, как правило, не покрытые глиной или натёками.

Гидрогеология. В гидрогеологическом отношении территория относится к Верхнеленскому артезианскому бассейну 2-го порядка, являющемуся составной частью более крупного Ангаро-Ленского артезианского бассейна 1-го порядка. Чередование регионально распространенных водоупорных пачек аргиллитов и алевролитов и водопроницаемых слоев песчаников и известняков, залегание известнякового слоя ниже уровня эрозионных врезов предопределило существование закрытых гидрогеологических условий в донеогеновый

период (рис. 4). В настоящее время отложения нижней подсвиты усть-кутской свиты в районе пещеры практически безводны.

Рассматривая особенности распределения подземных вод на более обширной площади (в радиусе 100 км) отметим, что к песчанистым известнякам и толстоплитчатым песчаникам этого уровня приурочен водоносный горизонт мощностью 1,5–5,0 м. Глубина его залегания колеблется от 0 до 240 м, возрастая с востока на запад и с севера на юг. Выходы подземных вод наблюдаются в виде родников с невысоким дебитом (от 0,1–0,5 до 2–10 л/сек), мочажин, заболоченных участков. Режим подземных вод этого горизонта отличается постоянством, так как их питание осуществляется не только путем инфильтрации атмосферных осадков, но и за счет перелива подземных вод из вышележащих водоносных горизонтов. Воды – безнапорные, трещинно-карстового и трещинно-пластового типа, формируются в зоне активного водообмена. По химическому составу они гидрокарбонатные магниевые-кальциевые, пресные (0,25–0,50 г/л).

Мощные выходы порово- и трещинно-пластовых, трещинно-карстовых пресных подземных вод связаны с песчаниками и карбонатными породами нижнего ордовика на территории Верхнеленского артезианского бассейна в долинах Лены, Илама и Купы. Протяженность выходов – сотни метров [2]. Латеральное пластовое перемещение характерно для подземных вод нижнеордовикских водоносных горизонтов.

Для бассейна верхнего течения р. Лены, в том числе и для окрестностей Ботовской пещеры ныне характерна скрытая восходящая разгрузка рассолов как активная, так и угнетенная [3]. Ширина зон трещиноватости, к которым приурочены современные восходящие потоки, колеблется от 3–5 до 10–15 км. Протяженность их от первых десятков до первых сотен километров [4].

Обследованная часть пещеры на протяжении всего года не имеет водотоков; повсеместно отмечаются инфильтрация воды по трещинам, участки конденсации, реже – лужи.

Генезис пещеры. Происхождение лабиринтовых пещер все еще остается спорным вопросом [5–8]. В настоящее время сосуществуют три главных генетических модели. Одна из них объясняет возникновение лабиринтов в вадозных условиях за счет периодически повторяющихся паводков [5]. Развитие лабиринта имеет место там, где периодически повторяется аллогенное затопление пещер речного типа, в которых главные стволы ходы с большой водопропускной способностью преграждаются глыбовыми завалами или скоплениями древесных остатков. В результате образуются высокие гидравлические градиенты, которые способствуют проникновению воды по трещинам в обход препятствия. С течением времени формируются лабиринтовые участки, наиболее характерные для концевых частей пещер.

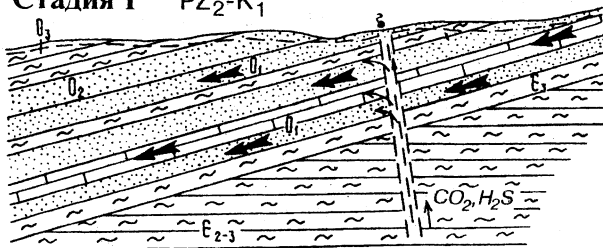
Модель подпруживания паводковыми водами не согласуется с площадным строением лабиринтовой сети ходов Ботовской пещеры и может быть отклонена. К тому же, не наблюдается морфолого-генетических связей между пещерой и прошлыми или настоящими поверхностными водотоками.

Другая модель описывает формирование лабиринтов в результате просачивания воды в карстующийся пласт через вышележащие песчаниковые водоносные горизонты. А.Н. Палмер подсчитал, что 86% лабиринтовых пещер США располагается под проницаемыми песчаниками [5]. Нередко потолки ходов сложены песчаниками. Равномерно развитая по площади сеть ходов пещерных лабиринтов возникает потому, что вода равномерно (рассредоточенно) проникает к растворимой породе через вышележащую нерастворимую диффузную среду с хорошо развитой первичной проницаемостью. По-видимому, эта модель также может быть отклонена в отношении Ботовской пещеры, поскольку наличие среди вышележащих пород усть-кутской свиты мощной водоупорной пачки аргиллитов и алевролитов препятствует сколько-нибудь значительной нисходящей фильтрации воды.

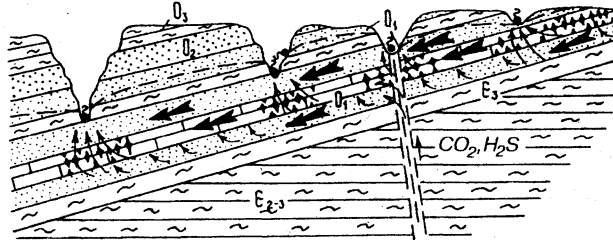
Строение пещеры, ее геологические и гидрогеологические особенности наиболее хорошо объясняются третьей моделью, развиваемой А.Б. Климчуком [6,7]. Согласно этой модели, подобные лабиринтовые пещеры формируются в артезианских условиях подземными водами, движущимися вверх от нижних к верхним водоносным горизонтам через карстующийся пласт. Генезис Ботовской пещеры, по-видимому, подобен происхождению гигантских гипсовых лабиринтов Западной Украины [8], хотя литология, местная геологическая история и геоморфологическая обстановка налагают характерные особенности.

Фактически все возможные трещины в известняковых слоях единообразно расширены и в настоящее время представляют собой лабиринт с высокой плотностью ходов. Возникновение такого лабиринта было возможно при условиях, когда агрессивные воды поступали

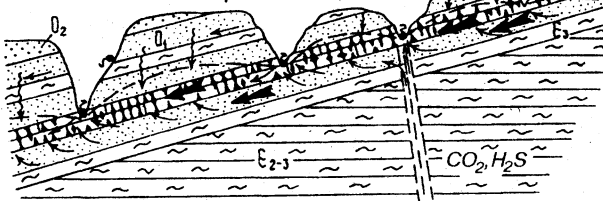
Стадия 1 PZ₂-K₁



Стадия 2 K₂-P



Стадия 3 N₁



Стадия 4 N₂-Q

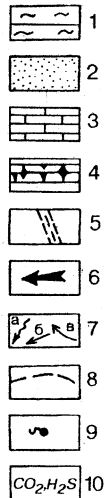
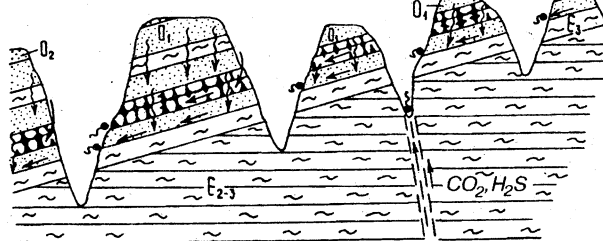


Рис. 4. Схема эволюции Ботовской пещеры

1 – алевролиты и аргиллиты; 2 – песчаники; 3 – известняки; 4 – пещерные ходы; 5 – зона разлома; 6 – артезианское латеральное нисходящее движение подземных вод; 7 – вертикальное перемещение подземных вод: а – нисходящие инфильтрационные воды, б – нисходящие грунтовые воды, в – восходящие артезианские воды и глубинные рассолы; 8 – зеркало грунтовых вод; 9 – источники; 10 – подземные воды с повышенными содержаниями углекислого газа и сероводорода

равномерно во все трещины из нижележащего песчаникового водоносного горизонта. Наличие ниже и выше известняков песчаниковых пачек, первоначально более проницаемых, чем известняки, благоприятствовало их гидравлической связи через трещины в известняковых пластах. Второстепенные маломощные пласты песчаника внутри известняковой пачки послужили причиной некоторого разделения спелеогенетического развития в двух уровнях. Там, где отдельные трещины пересекали всю известняковую пачку, они предпочтительнее расширялись внутри известняковых пластов, формируя конпланарные каналы. Затем разделяющие песчаниковые пласты разрушались, в результате чего появлялись единые высокие ходы (рис. ЗГ, Д, Е, Ж), которыми сформирована большая часть лабиринта. Ходы характеризуются поперечными сечениями, которые расширяются внутри

верхнего известнякового пласта и в его основании, вдоль контакта с подстилающими песчаниками (правда, последние наблюдения единичны, поскольку нижняя часть ходов, как правило, заполнена отложениями).

Многочисленные обломки песчаника обнаружены внутри глинистого заполнителя в таких ходах, где потолки сложены "верхним" известняком или верхними неповрежденными песчаниками (рис. 3Г, Д, Е, Ж), что подтверждает вывод о том, что это обломки разрушенного песчаникового пласта, разделявшего пласты известняков. В редких случаях каналы на двух уровнях остались разрозненными, или развились вдоль независимых (не конпланарных) трещин, развитых в каждом известняковом пласте (рис. 3А, Б, В).

Присутствие латерально связанных трещинных сетей свидетельствует о былом существовании значительного локального водного течения внутри известняков. Латеральный поток через систему резко возрастал в течение позднейших стадий артезианского спелеогенеза, когда поле гидравлического потенциала становилось достаточно неомогенным и артезианское ограничение данного водоносного горизонта было разрушено. Тогда же произошло, вероятно, формирование трубообразных каналов и наибольшее увеличение размеров ходов.

Можно предположить, что подземные воды поступали в известняки из песчаниковых водоносных горизонтов и обладали достаточной агрессивностью для обеспечения расширения трещин. Подземные воды в ордовикских водоносных горизонтах в других частях Ангаро-Ленского артезианского бассейна в отдельных случаях имеют значительные содержания CO_2 и H_2S газов, поднимающихся из нижележащих толщ венда по зонам разломов. Помимо этого, смешивание восходящих вод с водами, текущими латерально через частные горизонты переслаивания пластов песчаников и известняков, могло увеличить потенциал растворения на определенных уровнях.

К прямым признакам развития пещеры в вадозных условиях следует отнести эрозионные следы водных потоков, фиксируемые в разрезах некоторых шурфов в пещере [1]. Прослеживаются отчетливые глубокие промоины в глинистых отложениях на дне пещеры, впоследствии заполненные песчаными и глинистыми наносами с обломками песчаников, алевролитов и натеков. Однако эти водные потоки существовали на поздних этапах развития пещеры, когда пещерная система уже была сформирована.

Эволюцию трещинно-карстового водоносного коллектора и приуроченной к нему лабиринтовой пещеры можно разделить на 4 стадии (рис. 4): 1 – исходного артезианского бассейна; 2 – эрозионного расчленения вышележащей терригенной покрывки и активизации восходящего перетока вод на участках, тяготеющих к эрозионным врезам; 3 – вскрытия эрозией трещинно-карстового коллектора; 4 – углубления эрозионного вреза существенно ниже трещинно-карстового коллектора.

1 стадия была наиболее длительной, проходила в закрытых гидрогеологических условиях известнякового слоя в пределах обширного артезианского бассейна, слабо расчлененного эрозией. Началась она после завершения седиментационного цикла развития нижнеордовикского водоносного горизонта и составила инфльтрационный цикл его развития. Геологическое время ее протекания – поздний палеозой-мезозой. Она характеризуется вытеснением седиментационных вод инфльтрационными, удаленными областями питания и разгрузки, латеральным пологонисходящим движением метеорных вод с юго-востока на северо-запад, протяженными путями транзита вод, длина которых составляла от нескольких десятков до первых сотен километров. Области разгрузки являлись зоны линейных складок и сопровождающих их дизъюнктивных нарушений. Первоначальное закарстование трещин, возможно, происходило уже на этой стадии на отдельных участках в областях разгрузки.

2 стадия характеризуется активизацией воздымания и эрозионного расчленения территории, началом становления Верхнеленского поднятия, относимого к концу позднего мела [9]. Следствием появления эрозионных гидрогеологических "окон" явилось снятие гидростатической нагрузки на участках врезов и активизация восходящей фильтрации, что в конечном счете стимулировало процессы выщелачивания в нижележащих толщах. Вероятно, именно на этой стадии зародилась лабиринтовая пещерная система.

3 стадия характеризуется вскрытием карстового коллектора речными долинами, пещера перешла от фреатических условий к вадозным, появилось и затем понизилось зеркало грунтовых вод в пещерных ходах, в часть которых проникли инфлюационные воды, накопились озерные глинистые отложения. Из всех стадий она была самой короткой и, по-видимому, завершилась в миоцене. Об этом свидетельствует положение пещерного лабиринта на более высоких гипсометрических отметках по сравнению с уровнями плиоценовых речных террас.

В 4 стадию зеркало грунтовых вод опускается ниже карстового коллектора, следуя за дальнейшим углублением эрозионных врезов. Трещинно-карстовый водоносный горизонт и приуроченная к нему пещерная система осушаются. Происходят диагенез и уплотнение водных отложений, формирование натечных образований, других субаэральных отложений. При углублении речных долин верховья притоков рек постепенно отступают и инфлюация речных вод закономерно смещается от одних частей пещеры к другим. Основными процессами становятся коррозия стен и потолков инфильтрационными и конденсационными водами, размыв и переотложение глинистого заполнителя временными ручьями с мигрирующими руслами, отслоение, провисание, обрушение потолков, разрушение межъярусных песчаных перемычек.

Выводы

Ботовская пещера представляет собой сетчато-полигональный лабиринт, сформированный в известняковом слое в закрытых гидрогеологических условиях при взаимодействии латеральных пологонисходящих трещинно-карстовых и восходящих артезианских вод, поступающих из нижележащих песчаных водоносных горизонтов. Восходящее движение подземных вод обеспечивалось снятием гидростатической нагрузки в результате эрозионного расчленения вышележащих водоупоров, расположенных внутри терригенной покрывки. Главным фактором агрессивности подземных вод была, по-видимому, коррозия смешивания подземных вод различных гидрохимических типов. Пещерная система была сформирована, вероятно, в течение позднемиоценового – палеогенового времени, а с миоцена развивалась в субаэральных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филиппов А.Г. Ботовская пещера // Проблемы физической спелеологии. М.: МФТИ, 1994. С. 142–160.
2. Гидрогеология СССР. Т. XIX. Иркутская область / Отв. ред. В.Г. Ткачук. М.: Недра, 1968. 495 с.
3. Дзюба А.А. Разгрузка рассолов Сибирской платформы. Новосибирск: Наука, 1984. 156 с.
4. Дзюба А.А., Кустов Ю.И., Поспеев В.И., Трофимук П.И. Открытая и скрытая разгрузка рассолов Ангаро-Ленского артезианского бассейна // Месторождения подземных вод Иркутской области. Л.: Недра, 1974. С. 176–183.
5. Palmer A.N. The origin of maze caves // NSS Bulletin. 1975. V. 37. P. 56–76.
6. Klimchouk A.B. Speleogenesis under confined conditions, with recharge from adjacent formations. Publ. Serv. Geol. Luxembourg. Comptes Rendus du Coll. Int. de Karstol. Luxembourg, 1994. V. XXVII. С. 85–95.
7. Klimchouk A.B. Artesian speleogenetic setting. Proceedings of the 12th Int. Congr. of Speleol. V. 1. La Chaux-de-Fonds, Switzerland, 1997. С. 157–160.
8. Климчук А.Б. Артезианское происхождение крупных лабиринтовых пещер в миоценовых гипсах западных областей Украины // Докл. АН УССР. 1990. Сер. Б. Геол., хим., биол. науки. № 7. С. 28–32.
9. Структура и история развития Предбайкальского предгорного прогиба / Замараев С.М., Адаменко О.М., Рязанов Г.В. и др. М.: Наука, 1976. 134 с.

ВостСибНИИГТИМС, Иркутск

Поступила в редакцию
25.06.97

THE ORIGIN OF BOTOVSKAYA CAVE

A.G. PHILIPPOV

Summary

Botovskaya cave was formed in the Low Ordovician limestone stratum of 6-12 m thickness under closed freatic conditions of Angaro-Lensky artesian basin (Lena River). The cave looks like subhorizontal two-dimensional maze 32,5 km length. The limestone layer is confined from above and from below by thick marine sandstones. Cave system was probably generated by corrosion caused by gently descending meteoric artesian waters mixed with vertical descending waters from underlying aquifer.