

– косвенным признаком вторичности рассматриваемых пород может служить практически полное отсутствие ангидрита в их составе, тогда как в первичных каменной соли и сильвинитах он присутствует в достаточном количестве в составе галопелитового материала;

– наличие в изучаемой зоне выщелачивания прослоев «нормальной» каменной соли, для которой характерны в целом весьма отчетливая слоистая текстура, обычное слоистое строение годового слоя и темно-серые галопелитовые прослойки, указывает на насыщенный по NaCl состав рассолов.

*Работа выполнена в рамках Программы ФНИ № НИОКТР
АААА-А-18-118040690031-5*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванов А.А., Воронова М.Л. О сильвинитовой шляпе Верхнекамского месторождения // Геология месторождений калийных солей: сб. ст. – Л., 1963. – С. 181-190. – (Тр. ВСЕГЕИ, новая сер., т. 99)
2. Коротченкова О.В. Особенности химизма карбонатных минералов Верхнекамского месторождения калийных солей (Пермский край) // Уральская минералогическая школа. – 2018. – № 24. – С. 93-97.
3. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей / ГИ УрО РАН; [отв. ред. В.И. Раевский]. – Пермь: [Соликам. тип.], 2001. – 429 с.: ил.
4. Преображенский П.И. Предварительный отчет по работе Соликамской разведочной партии за период с 1 октября 1925 г. по октябрь 1926 г. – Л.: Геологич. Комитет, 1927. – 94 с. – (Материалы по общей и прикладной геологии. Материалы по обследованию Прикамского соленосного района. Вып. 104. Вып. 1).
5. Разумовская Е.Э. Причины и характер красной окраски калиевых соединений Соликамского месторождения // Иванов А.А. Отчет по разведочным работам ручным бурением, производившимся Соликамской партией Геологического комитета. – Л., 1927. – С. 34-41. – (Материалы по общей и прикладной геологии, вып. 105).

УДК 551.33+551.435.8

DOI:10.7242/echo.2021.1.3

О РОЛИ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ В ФОРМИРОВАНИИ КАРСТОВЫХ СИСТЕМ

Н.В. Лаврова

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация. Представлена роль вечной мерзлоты в развитии карстовых процессов при многократных оледенениях. Преобразование карстового субстрата рассмотрено на примере каналов и пустот, образующихся на границе современных ледников и коренных пород в горных системах Европы и Канады. Сложное строение толщи многолетнемерзлых пород при оледенении, особенно в зонах таликов, а также при деградации и наступлении ледников определяет особенности циркуляции подземных вод. Наряду с заполнением трещин и ранее образовавшихся пустот талые воды расширяют их и преобразуют. В результате образуются своеобразные формы, реликты которых можно наблюдать в современных карстовых системах. На примере органических труб в Кунгурской Ледяной пещере (Предуралье), а также находок криогенных минералов, предлагается модель преобразования карстующихся пород в условиях вечной мерзлоты.

Ключевые слова: вечная мерзлота, карстовые системы, Кунгурская Ледяная пещера, карстовый субстрат, циркуляция подземных вод, органические трубы, криогенные минералы.

Введение

Первичные пустоты на начальном этапе формирования небольших пещер и сложных карстовых систем образуются в результате эндогенных и экзогенных

процессов. В генетических классификациях классы и подклассы пещер и карстовых пустот выделены в соответствии с ведущими к их развитию процессами: магматическими, тектоническими, гравитационными, вулканическими, дефляционными, эрозионными, гляциогенными, пирогенными, биогенными, антропогенными и проч. [1]. К денудационному типу в экзогенном классе отнесены полости незначительных размеров по трещинам, контактам и т.д., образованные при доледниковом и последниковом выветривании [2].

Формирование дренажных систем под ледниковыми покровами

Предполагается уничтожение доледниковых карстовых форм или их полное заполнение. Однако в последние десятилетия появляется все больше материалов о значительной роли гидрогеологических процессов, происходящих на границе ледников и коренных пород, в образовании карстовых и спелеосистем как в современных условиях, так и в прошлом. Так, для закарстованных территорий в районе Люблина-Волыни представлена модель подледникового дренажа и его морфогенетические эффекты. При давлении ледникового покрова на карстовый субстрат потоки талой воды помимо заполнения трещин подледниковым материалом уходили на глубину до 100-150 м до карстового водоносного горизонта, создавая активную дренажную систему. Вечная мерзлота на переднем крае ледяного щита создавала дополнительное избыточное давление подземных вод, которые разгружались под реками и озерами на расстоянии 10-50 км от края льда [3]. В Большой Снежной пещере (Западные Татры) наряду с вертикальными каналами высотой до 60 м, развитыми по тектоническим разрывам, описаны шахты с округлым сечением до 10 м в диаметре, сформированные талыми водами [4]. Образование спелеосистем в известняках в центральной Скандинавии связано с растворением и расширением тектонических трещин в ледниковые и межледниковые периоды [5].

Только северная зона ледника Цанфлерон в Швейцарских Альпах дренируется в направлении главного ледникового потока, в то время как центральная и южная части дренируются непосредственно лежащим под ними карстовым водоносным горизонтом через многочисленные поноры под ледником и вблизи его фронта. Талая вода пересекает всю стратиграфическую последовательность, включая несколько прослоев мергелей по глубоким открытым трещинам, со временем прохождения 15-32 ч и разгружается в родниках в 3 км за пределами ледника. Аналогичные схемы дренажа были описаны для ледниковых карстовых систем в Скалистых горах, Канада [6].

Строение и гидрогеологические условия зоны многолетнемерзлых пород

Развитие карстовых процессов в приповерхностных условиях тесно взаимосвязано с эволюцией географических, геологических и климатических условий. В плейстоцене многие территории развития растворимых карбонатных и сульфатных отложений, в которых могли развиваться карстовые процессы, были покрыты ледниковыми щитами, либо находились в зоне вечной мерзлоты. Области распространения многолетнемерзлых пород даже в период их максимального распространения отличаются сложным строением. В результате сезонного или многолетнего протаивания прослой мерзлых пород чередуются с талыми породами. В Западной Сибири значительно южнее южной границы распространения современных мерзлых пород были обнаружены глубоко залегающие древние мерзлые толщи [7, 8]. Под крупными водоемами встречаются участки со сквозным протаиванием. Особые гидрогеологические условия создаются на переднем крае мерзлоты при ее де-

градации. Талые воды, пополняющие водоносные горизонты, значительно преобразовывали карстовый субстрат, создавая своеобразные подземные формы, следы которых, как представляется автору, можно наблюдать в современных карстовых системах.

Мощность промороженных пород при длительном охлаждении может достигать десятки, а иногда и сотни метров. При промерзании водонасыщенных пород вода отжимается в глубину. При наличии водоупора могут образовываться изолированные напорные водоносные системы. В этом случае могли формироваться пустоты по гидравлически активным трещинам, аналогичные для гипогенного карста – вертикальные каналы, в отдельных случаях с купольным завершением, пронизывающие растворимые породы на различную высоту.

Перигляциальные условия в Предуралье

Предположительно в эпоху днепровского максимального покровного оледенения граница постоянной мерзлоты доходила до широты оз. Сарпа (Калмыкия) и с. Копановка (Астраханская область), т.е. 47° с. ш. [9]. Флювиогляциальные условия отмечаются для полосы Предуралья в днепровское время. В конце среднего плейстоцена (московское время) по всему Предуралью в неохваченных оледенением более южных районах вплоть до Каспийского моря формировались перигляциального типа аллювиальные, озерно-делювиальные отложения, связанные своим происхождением с московским оледенением. По всей полосе Предуралья в приледниковой зоне отмечается формирование перигляциального аллювия, озерно-делювиальных супесей и суглинков, делювиальных и делювиально-солифлюиционных суглинисто-щебеньчатых отложений (мощностью 12–15 м). Обширное своеобразное «половодье» или «наводнение» в условиях позднего ледниковья [10]. Предположительно перигляциальные зоны с широким развитием многолетней мерзлоты и интенсивным развитием криотурбационных процессов, формировались при каждом наступлении ледника на территории северной части Нижнего Поволжья [11].

Формы воздействия вечной мерзлоты на карстующиеся породы

Многочисленные находки крупнокристаллического криогенного кальцита, происхождение которого заверено изотопным анализом кислорода и углерода, в пещерах Центральной Европы, Урала и Восточных Саян свидетельствуют о присутствии в них периодически протаиваемой мерзлоты в течение длительного времени [12]. В Кунгурской Ледяной пещере описаны различные виды криогенных минеральных образований, их кристаллографические особенности, закономерности распространения [13].

Кунгурская Ледяная пещера в Предуралье является эталонной карстовой полостью в карбонатно-сульфатных отложениях [14]. Разрез Ледяной горы, в недрах которой развита лабиринтовая спелеосистема с общей длиной ходов почти 6 км, представлен чередованием карбонатных пачек мощностью 5–10 м и сульфатных пачек мощностью 20–25 м иренского горизонта кунгурского яруса. Гроты и галереи развиты в пределах нижней сульфатной ледяно-пещерской пачки мощностью 25 м. Среди форм подземного ландшафта выделяются вертикальные органые трубы. В настоящее время в пещере зафиксировано 146 органых труб. Форма их в плане варьирует от округлой до извилистой сложной, поперечник составляет 1–10 м, высота до 20 м. Подавляющая часть органых труб «упирается» в плоские плиты карбонатных пород неволинской пачки на высоте 20–25 м. Отдельные трубы не доходят до неволинских доломитов и вскрывают верхние слои сульфатных отло-

жений ледяно-пещерской пачки. В этом случае органые трубы в поперечнике 1-3 м, высота не более 5 м, имеют округлые своды, что свидетельствует о напорной модели их формирования. Последнее подтверждается фрагментами сохранившихся извилистых подводящих каналов в устьях органических труб высотой до 1 м, образующихся при восходящем движении подземных вод.

По мнению автора, талые воды не просто поступали в трещины и ранее образованные пустоты в карстующихся породах. Обладая напором при оттаивании на глубину в условиях наступления мерзлоты, а также водообмене в таликовых зонах при общем промерзании и оттаивании карстового субстрата талые воды формировали каналы и расширяли полости. В зонах деформации пород данные процессы проходили более интенсивно.

По данным бурения карстовой системе Кунгурской Ледяной пещеры соответствует блок, смещенный по системе дизъюнктивных нарушений на фоне общего погружения слоистой толщи карбонатно-сульфатных и карбонатных пород иренского и филипповского горизонтов кунгурского яруса, а также артинских карбонатных отложений в западном направлении [15]. По вертикальным и субвертикальным трещинам, образованным в результате послепермских тектонических движений, сформировались обломочные зоны, которые прорабатывались талыми водами, в отдельных случаях напорными, в переходные периоды при чередовании ледниковых эпох и потеплений в плейстоцене. В результате начали формироваться вертикальные каналы, которые в дальнейшем преобразовывались инфильтрационными водами в органые трубы со следами коррозии на стенках.

Выводы

Морфологические особенности подземного ландшафта современных спелеосистем – органые трубы, могут являться следами исчезнувшей вечной мерзлоты. Эволюция каналово-полостных систем в течение нескольких периодов оледенений в Предуралье привела к трансформации карстового рельефа, как на поверхности так и внутри массивов.

Подземные воды при многократном наступлении и деградации вечной мерзлоты прорабатывали деформационные зоны в осадочных породах, формируя начальные формы будущих сложных спелеосистем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горбунова К.А., Костарев В.П., Андрейчук В.Н., Максимович Г.А. Карст и пещеры Пермской области. – Пермь: Изд-во ПГУ, 1992. – 200 с..
2. Дублянский В.Н., Андрейчук В.Н. Генетическая классификация подземных полостей // Геоморфология. – 1993. – № 1. – С. 31-37.
3. Атлас пещер России: [коллективная монография] / Русское географическое о-во, Рос. союз спелеологов; под ред. А.Л. Шелепина. – М., 2019. – 768 с.: ил., карты.
4. Dobrowolski R. Model of glaciogenic transformation of the Lublin-Volhynia chalk karst (Poland SE, Ukraine NW) // Karst and Cryokarst. – Sosnowiec-Wroclaw, 2007. – P.165-181.
5. Pawłowska-Bielawska P. Evolution of Wielka Snie_ na Cave in the light of geomorphologic observations // Karst and Cryokarst. – Sosnowiec-Wroclaw, 2007. – P.155-164.
6. Faulkner T. The one-eighth relationship that constrains deglacial seismicity and cave development in calcedonide marbles // Acta carsologica. – 2007. – V. 36, № 2. – P. 195-202.
7. Gremaud V., Goldscheider N. Geometry and drainage of a retreating glacier overlying and recharging a karst aquifer, Tsanfleuron-Sanetsch, Swiss Alps // Acta carstologica. – 2010. – V. 39, № 2. – P.289-300.
8. Ершов Э.Д. Общая геокриология. – М.: Недра, 1990. – 559 с.
9. Общее мерзлотоведение: Геокриология / под ред. Кудрявцева В.А. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: МГУ, 1978. – 464 с.: ил.

10. Чигуряева А.А., Жидовинов Н.Я., Мичурин В.Г. Изменение растительности и климата на Юго-Востоке Европейской части СССР в четвертичное время // Вопросы ботаники Юго-Востока: межвуз. науч. сб. – Саратов, 1988. – Вып. 6. – С. 53-80.
11. Плейстоцен Предуралья / [Яхимович В.Л. и др.]. – М.: Наука, 1987. – 112 с.: ил.
12. Немкова В.К. История растительности Предуралья за поздне- и послеледниковое время // Актуальные вопросы современной геохронологии: сб. ст. – М., 1976. – С. 259-275.
13. Кадебская О.И., Дублянский Ю.В., Шпётль К. Состояние исследований криогенного пещерного кальцита как палеоклиматического маркера на территории РФ // Изучение и использование естественных и искусственных подземных пространств и закарстованных территорий: материалы Всерос. конф. II Крымские карстологические чтения. – Симферополь, 2018. – С. 3-7.
14. Андрейчук В.Н., Кадебская О.И., Чайковский И.И. Криогенные минеральные образования Кунгурской Ледяной пещеры / Силезский ун-т, ГИ УрО РАН. – Сосновец; Пермь, 2013. – 128 с.
15. Кунгурская ледяная пещера: опыт режимных наблюдений / ГИ УрО РАН; под ред. В.Н. Дублянского; [отв. ред. А.И. Кудряшов]. – Екатеринбург, 2005. – 376 с.: ил.
16. Лаврова Н.В. О допалеологическом этапе развития карстовой системы Ледяной горы // Горное эхо. – 2019. – № 1 (74). – С. 16-20. – DOI: 10.7242/echo.2019.1.4.

УДК 504.054: 504.064.3

DOI:10.7242/echo.2021.1.4

СОВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВЕРХНЕ-ЗЫРЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА – ИСТОЧНИКА ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ КАЛИЙНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ БКПРУ-2, 4

С.А. Мирошниченко, А.В. Богомолов, А.А. Возняк, А.П. Лепихин, Ю.С. Ляхин
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Устойчивость технического водоснабжения крупных промышленных предприятий является одним из важнейших показателей надежности их функционирования. Особенно остро стоит данная проблема для предприятий, расположенных в зонах активного техногенеза, где доминирующим фактором в формировании загрязнения водных объектов являются недекларируемые, рассредоточенные, так называемые диффузные источники загрязнения. Данная проблема рассматривается на примере БКПРУ-4, осуществляющего техническое водоснабжение из Верхне-Зырянского водохранилища. Как показал проведенный комплекс полевых исследований, данный водоем характеризуется значительной вертикальной неоднородностью водных масс, оказывающей заметное влияние на устойчивость водопользования.

Ключевые слова: водохранилище, вертикальная стратификация, устойчивость водопользования.

Введение

Устойчивость технического водоснабжения крупных промышленных предприятий является одним из важнейших показателей надежности их функционирования. Водозабор БКПРУ-4 расположен на Верхне-Зырянском водохранилище. Забираемая на технические нужды природная вода поступает в том числе и для котельной ГТЭС БКПРУ-4. Проект по эксплуатации котельной ГТЭС БКПРУ-4 разработан для эксплуатации котлов типа ZFR-X-IE 35000x18, а также установки подготовки воды с учетом жесткости исходной воды от 3,0 мг-экв/дм³ до 6,5 мг-экв/дм³, а также общей минерализации (солесодержания) не более 411,3 мг/дм³. По данным ПАО «Уралкалий» качество забираемой воды из Верхне-Зырянского водохранилища, в особенности в период зимней межени, отличается от вышеуказанных проектных значений по эксплуатации котельной ГТЭС БКПРУ-4 ПАО «Уралкалий». Солесодержание химочищенной воды подвержено сезонным колебаниям вследствие аналогичного изменения исходной обрабатываемой воды, что приводит к затруднению в эксплуатации данных котлов и установки подготовки воды. В последние три года эксплуатация котлов проходит с вынужденными остановками из-