

## Трещиноватость пещер Подолии в аспекте ротационных и тектонических причин образования

© В. В. Покалюк<sup>1</sup>, А. А. Аронский<sup>2</sup>, Н. В. Шафранская<sup>1</sup>, А. А. Матошко<sup>3</sup>, 2012

<sup>1</sup>Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

<sup>2</sup>Нью-Йорк, США

<sup>3</sup>Ивано-Франковский национальный технический институт нефти и газа,

Ивано-Франковск, Украина

Поступила 5 сентября 2011 г.

*Представлено членом редколлегии О. Б. Гинтовым*

Обговорено питання походження спелеоініціуювальної тріщинуватості печерних мереж Подоії з використанням структурного аналізу лабіринтів, дешифрування лінементів рельєфу і уявлення про планетарну (ротаційну) тріщинуватість.

Problems of origin of speleoinitiating fracturing of Podolia cave networks are discussed applying structural analysis of labyrinthes, photointerpretation relief lineaments and conception of planetary (rotation-initiated) fracturing.

**Введение.** Все исследователи, детально изучавшие гипсовый карст Подолии, в той или иной степени освещали вопросы трещиноватости гипсов [Гофштейн, 1952; 1967; Дублянский, Смольников, 1969; Кучерук, 1976; Корженевский, Рогожников, 1978; Андрейчук, Ломаев, 1979; Коржик, 1984; Печеркин, 1986; Климчук и др., 1995; Андрейчук, 2007]. Большинство исследователей считают, что тектоническая трещиноватость гипсов послужила основой для формирования большей части подземных лабиринтов. По меткому выражению И. Д. Гофштейна, «карст выступает как удивительный препарат тектонической трещиноватости» [Гофштейн, 1967, с. 502]. Наряду с тектонической трещиноватостью существенную (или даже определяющую) роль в спелеогенезе, по мнению ряда исследователей [Корженевский, Рогожников, 1978; Климчук и др., 1995], играют различного рода литогенетические трещины.

И. Д. Гофштейн отмечал, что для крупнейших гипсовых пещер Подолии характерны два основных направления тектонических трещин, свойственных господствующим направлениям трещиноватости миоценовых пород западной Подолии — северо-западное («карпатское») и перпендикулярное к нему северо-восточное. При этом наблюдается явное превосходство по степени проявления и по распространенности трещин северо-восточного направления над трещинами северо-западного [Гофштейн, 1967]. Образование этих систем связывается с

периодом интенсивного складкообразования в Карпатах [Гофштейн, 1952].

В. Н. Дублянский и Б. М. Смольников приводят гистограммы пещерообразующих трещин (направлений ходов) для многих пещер Подолии левобережья р. Днестр, из которых следует гораздо более сложное распределение тектонической трещиноватости, чем это представлялось ранее. Они в целом подтверждают доминирование северо-восточных направлений, однако указывают, что в одних случаях отчетливо прослеживаются два пика 10—20 и 290—300° (пещеры Угрынь, Млынки); в других, кроме двух основных пиков, близких по направлению к упомянутым, прослеживаются дополнительные пики, соответствующие направлениям 60—70, 330—340, 80—90, 0—10° (пещеры Озерная, Ветровая, Юбилейная и др.). «Основные направления ходов полостей, расположенных в северном, центральном и южном районах междуречья Серет-Збруч, различаются одно по отношению к другому на 10—20°» [Дублянский, Смольников, 1969, с. 79]. Это явление объясняется возможным существованием в пределах междуречья трех крупных блоков, несколько различных по проявлению тектонической трещиноватости.

Несколько иная трактовка наблюдаемых соотношений трещин у А. А. Ломаева: «характерной для большинства пещер является ориентировка ходов по системе двух или двух пар взаимно перпендикулярных трещин, имеющих

простираение субмеридиональное (340, 10°) и субширотное (70—80, 280—290° или 40—60, 310—320°)» [Ломаев, 1979, с. 74].

А. И. Печеркин изучал плотность тектонических трещин на единицу площади закарстованных массивов. Для гипсовых пещер Золушка и Буковинка им подсчитаны показатели плотности тектонической трещиноватости, такие как:  $L$  — общая длина тектонических трещин на 225 м<sup>2</sup> поверхности массива и  $K$  — количество пересечений тектонических трещин на 225 м<sup>2</sup> поверхности массива. Исходя из значений этих показателей, выделены три категории участков: 1) сильнораздробленные ( $L=150\div 600$ ,  $K=15\div 80$ ); 2) среднераздробленные ( $L=50\div 150$ ,  $K=5\div 15$ ); 3) слабораздробленные ( $L<50$ ,  $K<5$ ). Подземные формы карста максимально развиты на среднераздробленных участках. Ширина этих зон составляет 40—80 м. На слабораздробленных участках закарстованность незначительная, либо она вообще отсутствует. Таким образом, по А. И. Печеркину, «прерывисто-непрерывный характер тектонической трещиноватости ... определяет прерывисто-непрерывный характер карстообразования» [Печеркин, 1986, с. 57].

Б. А. Корженевский и В. Я. Рогожников описали очень интересную структурную особенность многих пещерных лабиринтов — полигональность. Ее характерными признаками являются трехлучевое сочленение ходов и пяти-шестиугольная форма межходовых целиков. Яркий пример такой полигональной трещиноватости — Старый район пещеры Оптимистическая (гроты Молекула, Космонавта Комарова, Черепаший, галерея Спелеологов и др.). Происхождение полигональной структуры лабиринтов объясняется этими авторами явлением контракции — растрескиванием гипсового массива на полигональную сеть трещин в результате усыхания и обезвоживания в период кратковременного континентального перерыва после отложения гипсов. При этом они не исключают участия в закарстовании рассматриваемого региона и тектонической трещиноватости, которой в этом процессе «принадлежит один из определяющих моментов» [Корженевский, Рогожников, 1978, с. 151].

В. Н. Андрейчук, В. П. Коржик обратили внимание на такую важную характеристику пещерообразующих трещин, как ранговость. «Ранг нарушения определяется количеством примыкающих к нему трещин (ходов). Если к пещерному ходу, заложенному по нарушению,

со стороны лабиринта прилегает семь трещин-ходов, то это нарушение седьмого порядка, если два — то второго и т. д. В Золушке самый высокий порядок — восьмой. Нарушения высоких порядков (6—8) образуют пещерный «каркас». Они представлены северо-западными и северо-восточными направлениями при резком преобладании северо-восточного. Высокопорядковые нарушения часто являются «сквозными» по отношению к пещерным районам» [Андрейчук, Коржик, 1984, с. 28].

А. Б. Климчук, В. Я. Рогожников рассматривали общую классификацию трещин по отношению к спелеогенезу (доспелеогенные, спелеоиницирующие, постспелеогенные), а также их генезис (тектонические, литогенетические, гравитационные и пр.) Была подмечена неоднородность проявления трещин в вертикальном разрезе [Климчук, Рогожников, 1982].

В последней, наиболее подробной работе по структурным предпосылкам спелеогенеза подольских пещер [Климчук и др., 1995] детально охарактеризованы различия в структуре сетей трещин и ходов, развитых в различных ярусах гипсовой толщи. По мнению этих исследователей, спелеоиницирующая трещиноватость гипсов «в наибольшей степени соответствует свойствам литогенетической трещиноватости, возникшей на стадии позднего диагенеза в связи с продолжающимися и в твердой породе процессами отжатия и перераспределения поровых растворов, перекристаллизации гипсов и т.п.» [Климчук и др., 1995, с. 56]. При этом отмечено, что: «... вопрос о природе спелеоиницирующей трещиноватости в гипсах региона пока не решается однозначно... По-видимому, правильно будет говорить о сложном процессе формирования трещиноватости в ходе литогенеза (катагенеза) гипсовой толщи, при одновременном воздействии литогенетических и тектонических напряжений и определяющем влиянии структурно-текстурных неоднородностей на заложение трещин» [Климчук и др., 1995, с. 59].

В настоящей работе авторы попытались осветить некоторые дискуссионные вопросы происхождения спелеоиницирующей трещиноватости гипсов, используя метод структурного анализа лабиринтов, дешифрирование линеаментов рельефа по космоснимкам и активно развивающиеся в последнее время представления о планетарной трещиноватости. Под планетарными понимают деформации земной коры, формирующиеся под влиянием внешних по отношению к Земле факторов,

в первую очередь ротационных сил [Шульц, 1971; Планетарная..., 1973; Гинтов, 2001; 2005].

Давно подмечено, что горизонтально залегающие породы платформенного чехла рассеяны густой сетью субвертикальных трещин, сохраняющих свою ориентировку и соотношения между собой на больших площадях. Ориентация этих трещин обнаруживает обычно статистически закономерную связь с четырьмя направлениями относительно современной оси вращения Земли — орто- и диагональными [Шульц, 1971; Планетарная..., 1973; Гинтов, 2001; 2005].

Основные признаки планетарной трещиноватости применительно к осадочным или вулканогенным породам чехла [Гинтов, 2001]: 1) им свойственна густая сеть субвертикальных непротяженных (не более сотен метров) трещин, в ориентировке которых обнаруживается связь с осью вращения Земли; 2) количественно преобладают сколовые трещины, диагональные по отношению к меридионально-широтной сетке; 3) трещины сопровождаются малозаметным сдвиговым перемещением их бортов (чаще всего вообще без смещения); 4) зеркала и борозды скольжения обычно отсутствуют; 5) совместно развитые и разновозрастные системы трещин (парагенезисы) наблюдаются на больших площадях, охватывающих регионы различного тектонического строения; 6) в вертикальном разрезе трещины редко пересекают несколько стратиграфических горизонтов, обычно их распространение ограничено рамками свиты или слоя.

Особенностью трещинной сети пещер Подолии является то, что трещины в большинстве случаев вертикальные, часто нитевидные, отсутствуют заметные смещения, борозды скольжения, глинки трения. Распределение трещин по вертикальному разрезу гипсовой толщи ярусное, зависит от структурно-текстурных свойств отдельных слоев и горизонтов. В их ориентировке (о чем будет речь идти ниже) нередко устанавливается связь с меридионально-широтной и диагональной сетями трещин. Все эти признаки соответствуют свойствам планетарной трещиноватости, образованной в процессе литификации осадков под воздействием сравнительно малых величин общепланетарных ротационных и региональных тектонических напряжений в верхнем слое земной коры.

В качестве основного объекта изучения выбрана пещера Млынки — одна из наиболее крупных пещер Украины (общая протяженность лабиринта — 44 км). Она расположе-

на в северной части ореола распространения крупнейших пещер Подолии — в 5 км к югу от г. Чертков, между селами Угрынь и Залесье. Пещера заложена в толще гипсов неогенового возраста мощностью около 20 м. Гипсы перекрыты позднемiocеновыми морскими песчано-карбонатно-глинистыми отложениями, на которых местами лежат четвертичные делювиальные суглинки. Общая мощность надгипсового чехла достигает 30 м.

Литологический разрез гипсовой толщи имеет здесь существенные фациальные различия от наиболее крупных спелеогигантов Подолии — пещер Оптимистическая и Озерная, расположенных в 30 км южнее (рис. 1). Разрез характеризуется сокращенной мощностью (до 3 м) верхней крупно-гигантокристаллической пачки гипсов, менее ярким проявлением куполовидной слоистости и меньшей размерностью кристаллов в крупнокристаллических слоях средней пачки (до 1 см), отсутствием реперного прослоя бентонитовых глин на контакте средней и верхней пачек. В целом разрез здесь более однороден — сложен преимущественно скрыто-мелкозернистыми тонкогоризонтально-слоистыми гипсами. По этой причине формирование и проявление трещин в меньшей мере зависит от влияния структурно-текстурных и вещественных неоднородностей. Ярусная дифференциация трещинных сетей, столь характерная для пещер центрального и южного районов междуречья Серет-Ничлава, здесь проявлена незначительно и не определяет существенных различий между отдельными районами пещеры. Это послужило одним из критериев при выборе пещеры Млынки в качестве базового объекта изучения структурных парагенезисов трещин. Кроме того, были исследованы также лабиринты других пещер, расположенных в 20 км к югу (Мушкарова яма, Вертеба, Алексинская).

**Методика.** Прежде всего, необходимо ввести некоторые определения. Объектом структурного анализа в нашем случае выступают топографические планы пещер. Как показано в работе [Климчук и др., 1995, с. 26], пещерные ходы «в целом адекватно характеризуют соответствующие свойства спелеоиницирующих трещин и их сетей». Принимается, что большинство ходов, отраженных на планах, инициированы трещинами соответствующих направлений. Трещины, не проработанные карстом (не закартированные), таким образом выпадают из анализа. Подавляющее большинство спелеоиницирующих трещин,

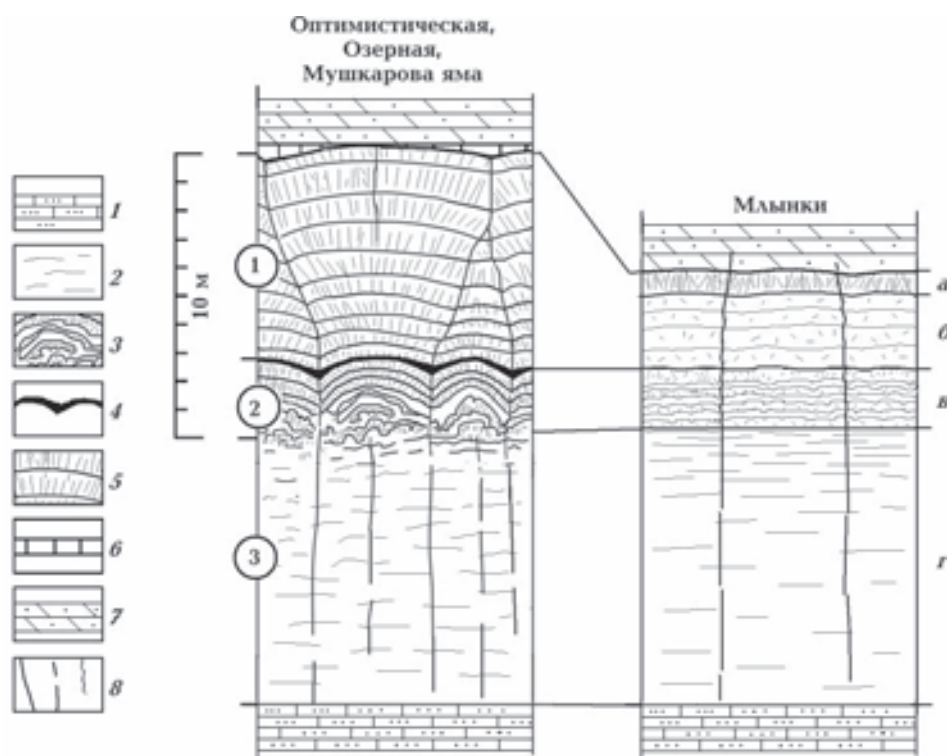


Рис. 1. Схема корреляции литологических разрезов гипсовой толщи тирасской свиты районов пещер Млынки, Оптимистическая, Озерная, Мушкарова яма: 1 — известняки багрянковые песчаные с прослоями известковистых песчаников, 2 — гипсы скрыто-мелкозернистые, светло-серые с коричневатым оттенком, 3 — переслаивание скрыто-мелкозернистых светло-серых и крупно-гигантокристаллических коричневых гипсов, 4 — маркирующий прослой бентонитовых глин зеленовато-серых, 5 — гипсы крупно-гигантокристаллические коричневые, 6 — известняки пелитоморфные (ратинские), 7 — мергели зеленовато-серые с прослоями глин и песчаников, 8 — трещины в гипсовой толще; цифры в кружках — пачки гипсов; а—г — слои (пачки) гипсов в районе пещеры Млынки (а — крупно-гигантокристаллические коричневые гипсы, длина кристаллов до 10—15 см, б — неяснослоистые средне-крупнокристаллические светло-коричневые гипсы пятнистой текстуры, длина кристаллов до 3 см, в — переслаивание (1—10 см) скрыто-мелкозернистых и средне-крупнокристаллических гипсов, залегание слоев мелковолнистое, длина кристаллов в средне-крупнокристаллических прослоях до 1 см, г — скрыто-мелкозернистые гипсы медовых тонов, в верхней части тонко-горизонтально-слоистые).

отраженных в виде линейных ходов на планах пещер, являются субвертикальными. Это свидетельствует о доминировании тангенциальных (горизонтальных) напряжений при их формировании и позволяет использовать розы-диаграммы распределения ориентировок ходов для анализа парагенезисов трещин и решения обратной кинематической задачи тектонофизики — восстановления поля напряжений по наблюдаемым разрывам и их соотношениям. Изначально малые глубины возникновения трещин (не более 150 м) и реологические свойства гипсов на такой глубине определяют уровень хрупких и весьма хрупких деформаций, который характеризуется обычно небольшими величинами угла скалывания (24—30°). Иницирующие трещины соответствуют в некотором приближении центровым (осевым) линиям ходов. Для получения центровых линий

ходов использовался алгоритм на основе метода полигонов Воронова [Грачев, 2011]. Этим был исключен субъективный фактор при их построении. Центровые линии более-менее точно отражают осредненное простирание спелеоиницирующих трещин в случае ходов небольшой ширины. Участки широких залов и галерей, образованных за счет объединения множества спелеоиницирующих трещин, исключались из анализа или использовались в случае ярко проявленных доминантных направлений. По распределению азимута простирания и длины центровых линий ходов строились розы-диаграммы с помощью встроенного модуля в программе Mapinfo [Шафранская, 2011]. Элементарные выборки составлялись по принципу однородности пещерных рисунков и в дальнейшем объединялись в масштабах отдельных районов, групп районов и всей пещеры.

**Результаты.** По морфологии пещерных рисунков весь лабиринт пещеры четко разделяется на два типа — А и В (рис. 2).

Лабиринт А — группа районов на юге и юго-западе пещеры, лабиринт В — на севере и северо-востоке. Граница между ними может быть проведена по условной линии с азимутом  $\sim 290^\circ$ . Лабиринты обоих типов, примыкая к этой условной граничной линии, обрываются, лишь в единичных местах соединяясь перемычками. Граница обусловлена, по всей вероятности, постспелеогенным нарушением с раскрытием и незначительным вертикальным смещением. Подобные зияющие постспелеогенные трещины с азимутом  $\sim 300^\circ$  широко распространены в пещере. Они характеризуются вертикальным падением, ровным сколовым характером поверхности стенок с раскрытием 10—20 см и смещением по вертикали 5—15 см. При этом опущенными являются северные и северо-восточные крылья. Отсюда можно предположить, что гипсовый блок, в пределах которого развит лабиринт В, опущен по

отношению к соседнему юго-юго-западному блоку. Величина вертикального смещения, по-видимому, не превышает 50 см. Лабиринты различаются друг от друга типом рисунка (изотропный—анизотропный, параллелепипедальный, субортогональный), плотностью сетей, ориентировкой доминирующих направлений, различными структурными парагенезисами сопряженных трещин.

**Лабиринт А** характеризуется ярко выраженной анизотропией направлений при резком доминировании одного (основного) северо-северо-восточного направления ( $10—20^\circ$ ) и подчиненном развитии других, среди которых выделяется, в первую очередь, северо-западное направление ( $290—300^\circ$ ) (рис. 3). Поскольку эти две системы доминируют количественно и образуют постоянно повторяющуюся связанную пару, можно считать их сопряженными. По морфологии проявления этих систем и углу между ними  $70—80^\circ$  их можно интерпретировать как сопряженные L и R' сколы.

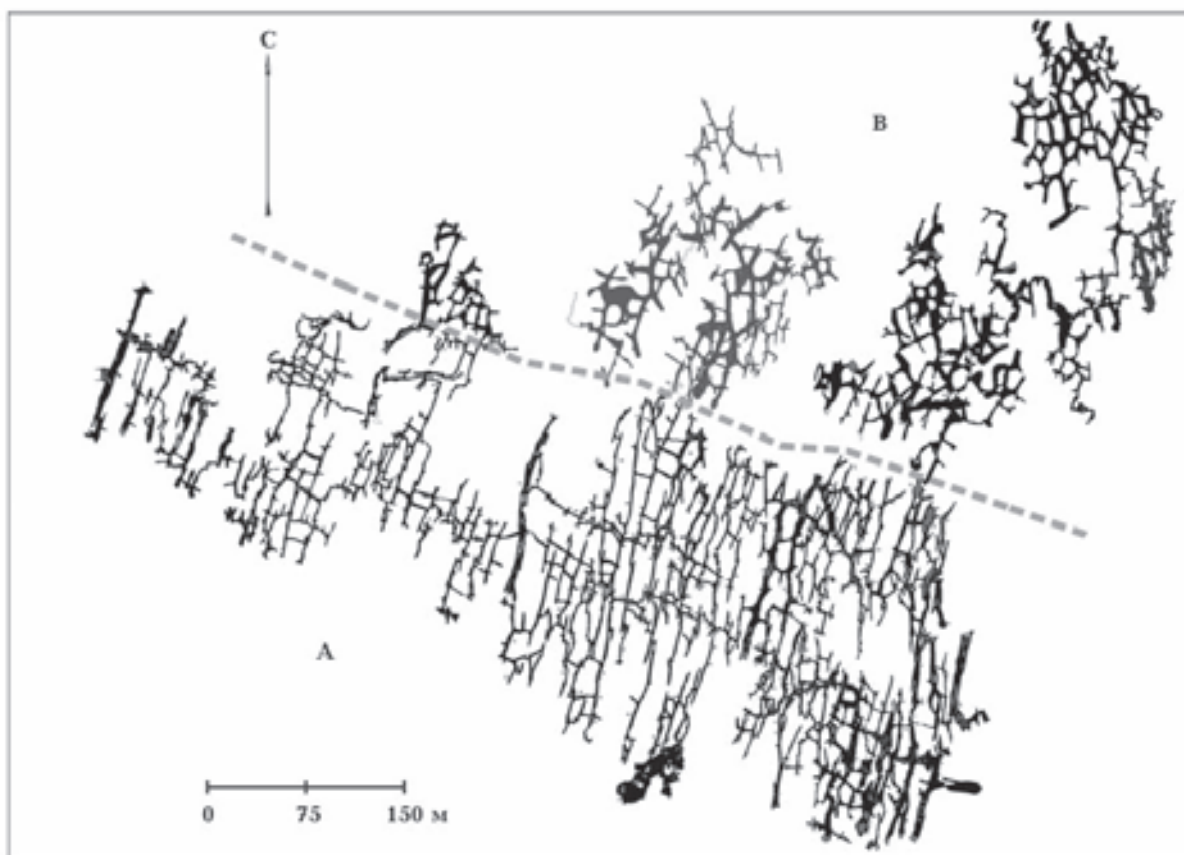


Рис. 2. Топографический план лабиринта пещеры Млынки (Тернопольская обл., Чертковский р-н) по материалам спелеоклуба «Кристалл» (г. Чертков). Пунктиром отмечена граница между лабиринтами А и В.

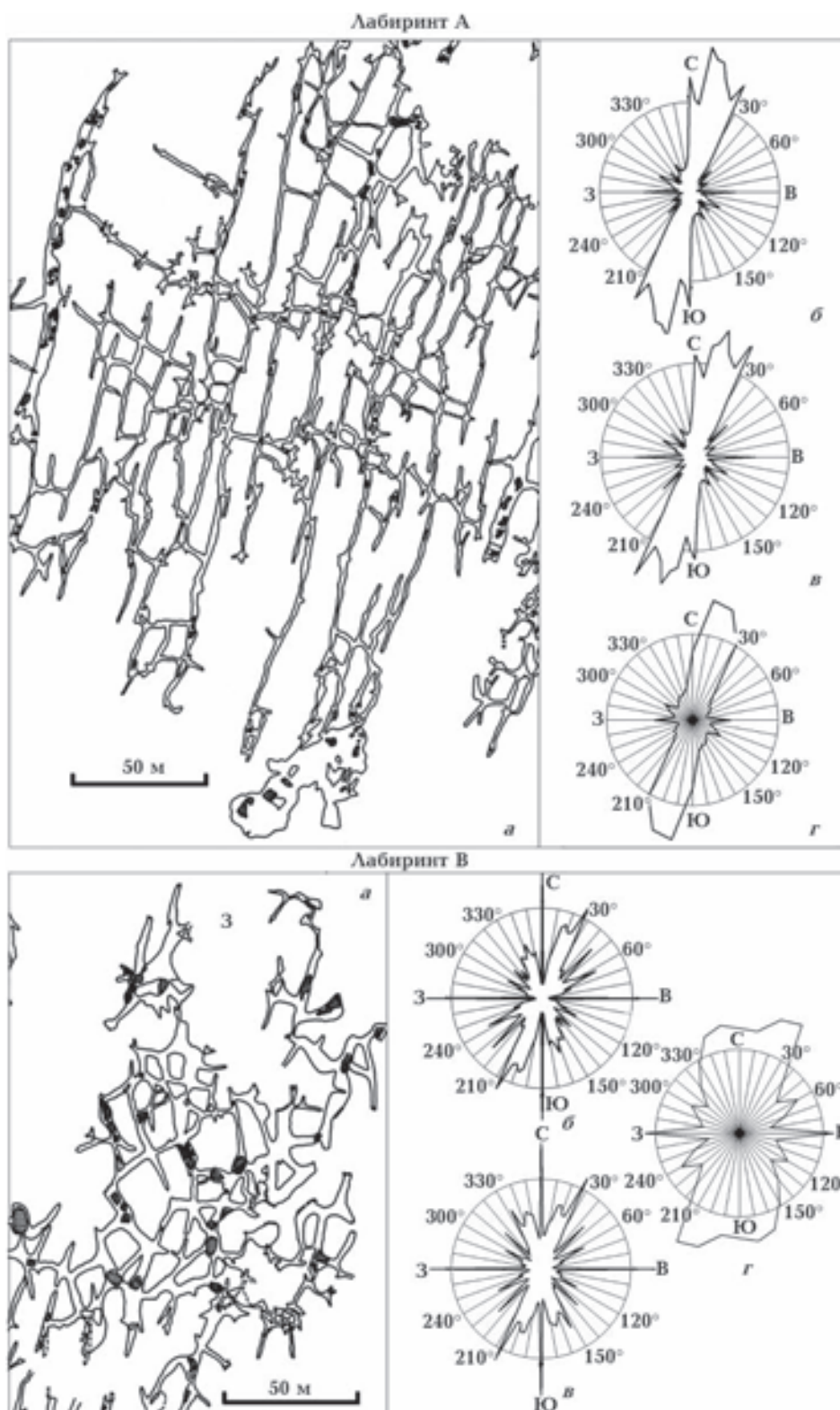


Рис. 3. Структурные особенности лабиринтов А и В. Лабиринт А: *а* — типичный фрагмент лабиринта (район Центральный), *б–г* — розы-диаграммы ориентировок ходов, масштаб линейный (*б* — район Центральный (объем выборки 3000 линейных отрезков, интервал объединения данных  $3^\circ$ ), *в* — весь лабиринт А (выборка — 9000, интервал —  $10^\circ$ ), *г* — весь лабиринт А (выборка — 9000, интервал —  $10^\circ$ )). Лабиринт В: *а* — типичный фрагмент лабиринта (район Победа), *б–г* — розы-диаграммы ориентировок ходов, масштаб линейный (*б* — район Победа (объем выборки 2400 линейных отрезков, интервал объединения данных  $3^\circ$ ), *в* — весь лабиринт В (выборка — 8000, интервал —  $3^\circ$ ), *г* — весь лабиринт В (выборка — 8000, интервал —  $10^\circ$ )).

Ходы основного направления (L) длинные, прямые, с коротким (3—12 м) шагом между двумя параллельными ходами. Ходы сопряженно-направленного направления (R') короткие, с более широким (10—40 м) шагом. В целом данный тип лабиринта может быть отнесен к разряду параллелепипедальных сетей, хотя эта параллелепипедальность искажена (усложнена) присутствием других направлений трещин. Кроме указанных двух основных направлений выделяются еще как минимум три системы трещин — это меридиональная ( $0^\circ$ ), северо-восточная ( $28^\circ$ ), широтная ( $270^\circ$ ), которые хорошо проявлены на розе-диаграмме ориентировок ходов лабиринта А (см. рис. 3). Субмеридиональная система тесно связана с основной северо-северо-восточной системой; вместе они образуют длинные протяженные ходы, периодически изменяющие свое простирание с северо-северо-восточного на меридиональное. Угол между ними составляет  $12\text{—}20^\circ$ , что позволяет рассматривать их как парагенезис L- и R-сколов. Вместе эти три системы лабиринта А ( $10\text{—}20^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $290\text{—}300^\circ$ ) образуют парагенезис L-, R- и R'-сколов при левостороннем основном сдвигании. К этому же парагенезису мы относим и систему  $28^\circ$ , которая может соответствовать P-сколам. Вместе указанные четыре системы составляют более 80 % всех трещин лабиринта А. В целом в лабиринте А фиксируются девять систем, в порядке убывания:  $10\text{—}20$ ,  $28$ ,  $0$ ,  $290\text{—}300$ ,  $270$ ,  $45$ ,  $315$ ,  $330$ ,  $60^\circ$ . Все указанные системы являются неслучайными, что подтверждается большой выборкой и четкостью пиков на диаграмме. Первые четыре системы образуют парагенезис L—P—R—R'-сколов главного этапа формирования трещин, для которого восстановленная ось главного нормального сжатия ( $\sigma_1$ ) проходит через северо-западные—юго-восточные квадранты с ориентировкой  $330\text{—}335^\circ$ . Остальные системы связаны, по всей вероятности, с другими этапами образования трещин.

**Лабиринт В.** Здесь также очевиден контроль спелеогенеза линейными структурами, однако в отличие от лабиринта А сеть характеризуется отсутствием ярко выраженной анизотропии — равномерным развитием трещин разных направлений и иным доминирующим структурным парагенезисом сопряженных трещин. Эти отличия напрямую не связаны с ярусностью гипсовой толщи. Оба типа лабиринтов (А и В) заложены по системам трещин, пересекающих, как правило, всю гипсовую толщу. Однако незначительные различия, связанные с ярусностью, все же имеются. Лабиринт А тяготеет к

нижней и средней частям разреза гипсов (преимущественно скрыто-мелкозернистым разностям), тогда как лабиринт В — к средней и верхней (мелко-средне-крупнокристаллическим разностям). В средней и верхней частях разреза гипсов присутствуют, хотя и в зачаточном состоянии, мегасферолитовые структуры [Покалюк и др., 2011]. Лабиринт В характеризуется широкими, более короткими и значительно менее выдержанными по простиранию ходами (см. рис. 3). По общей форме он приближается к субортогональному. Парагенезис основных систем иной, чем в лабиринте А.

На розе-диаграмме ориентировок ходов лабиринта В выделяются десять систем направлений, в порядке убывания:  $10\text{—}20$ ,  $25\text{—}28$ ,  $340\text{—}350$ ,  $332$ ,  $62$ ,  $45$ ,  $0$ ,  $315$ ,  $290\text{—}300$ ,  $270^\circ$ . Все они, за исключением системы  $340\text{—}350^\circ$ , присутствуют и в лабиринте А. Но в отличие от последнего здесь появляется новая доминирующая сопряженная пара —  $340\text{—}350$  и  $62^\circ$ . Она является характерным отличительным признаком лабиринта В. На сопряженность этой пары указывает следующее: 1) два указанных направления проявлены совместно именно здесь (в лабиринте А система  $340\text{—}350^\circ$  отсутствует, а система  $62^\circ$  количественно подчинена всем остальным); 2) образуют повторяющуюся пару и, по сути, определяют облик данной сети. Угол между этими системами составляет  $\sim 77^\circ$ , что позволяет интерпретировать их как L- и R'-сколы. Ось главного нормального сжатия ( $\sigma_1$ ) этой сопряженной пары проходит через юго-западно—северо-восточные квадранты и составляет  $\sim 20^\circ$ . Таким образом, для пещеры Млынки в целом имеет место наложение двух основных структурных парагенезисов, образованных в разные этапы формирования трещин. Какой из них более ранний, сказать трудно, но количественно доминирует первый.

При всей схожести морфологических проявлений трещин с планетарной трещиноватостью, структурная ориентировка обоих указанных парагенезисов обусловлена тектоническими (эндогенными) причинами. На это указывает несовпадение ориентировки оси главного нормального сжатия с установленной [Гинтов, 2001; 2005] меридионально-широтной ориентацией главных нормальных осей планетарных ротационных полей напряжений в неоген-четвертичное время.

На общей розе-диаграмме всех ходов пещеры Млынки (рис. 4) присутствуют девять систем трещин ( $270$ ,  $298$ ,  $320$ ,  $332$ ,  $0$ ,  $10\text{—}20$ ,  $28$ ,  $45$ ,  $62^\circ$ ), что свидетельствует о нескольких

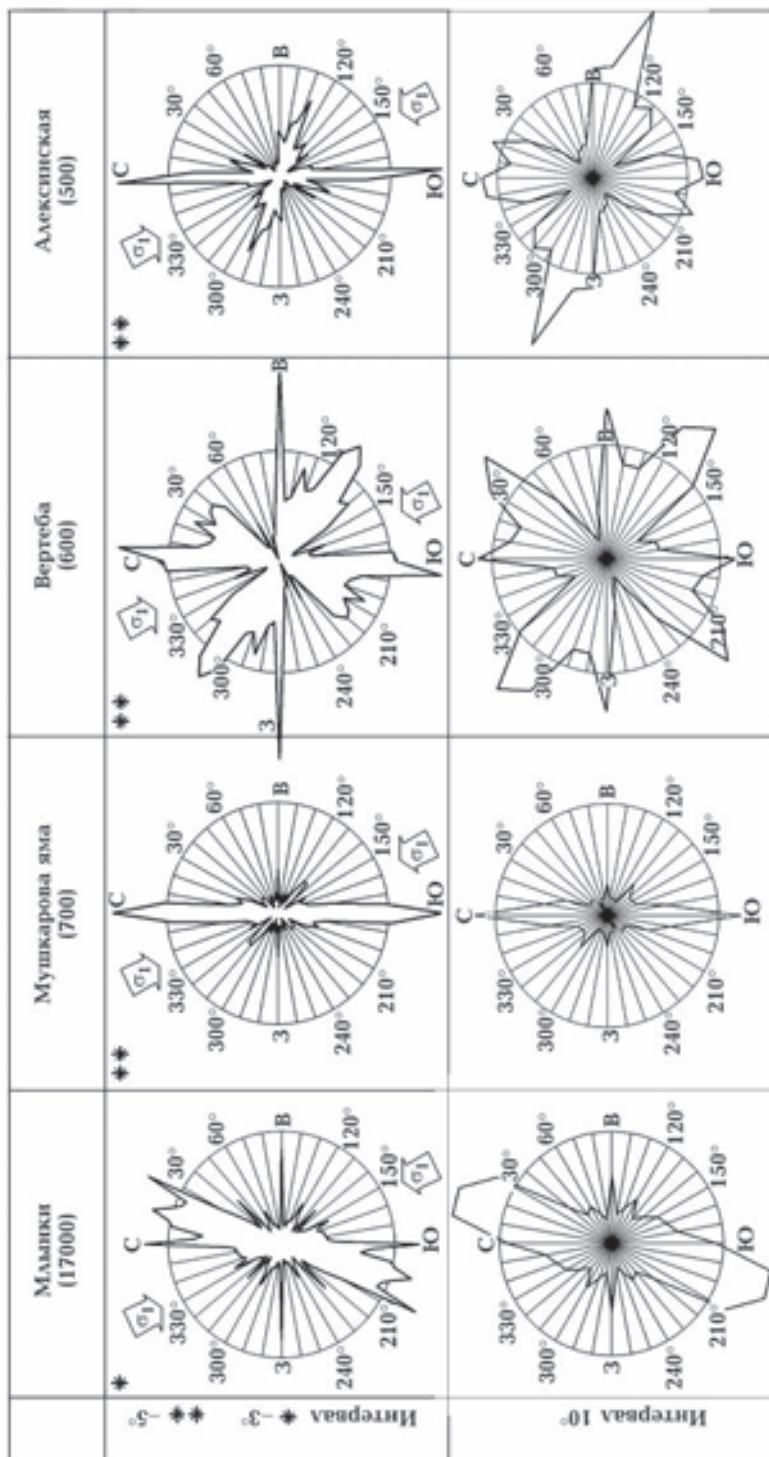


Рис. 4. Розы-диаграммы направлений ходов пещер. В скобках — объем выборки, масштаб линейный.



этапах их образования. Один самостоятельный этап имеет не более пяти—шести систем, чаще не более четырех.

Степень достоверности тех или иных систем трещиноватости, естественно, зависит от объема выборки и интервала объединения данных. Как выяснилось, достаточным интервалом, выявляющим закономерную многонаправленность (полиmodalность) трещин для пещерных лабиринтов средних размеров (1—5 км) является  $5^\circ$ . Для более крупных лабиринтов (5—40 км и более) можно использовать интервал  $3^\circ$ . Объединение данных с интервалом  $10^\circ$  приводит к существенной потере информации о многоэтапности и многонаправленности трещин (см. рис. 4).

В 20 км к югу от пещеры Млынки расположены пещеры Вертеба, Мушкарова яма и Алексинская. Рисунки трещинно-разрывных сетей этих пещер имеют между собой некоторые различия, выраженные в преобладании тех или иных общих направлений, однако оси главного нормального сжатия суммарных полей везде примерно одинаковы и соответствуют оси главного нормального сжатия основного этапа образования трещин для пещеры Млынки. Все они проходят через северо-западные и юго-восточные квадранты и ориентированы северо-северо-запад—юго-юго-восток ( $330\text{—}340^\circ$ ) (см. рис. 4). Это свидетельствует о доминирующем суммарном региональном сжатии север-северо-запад—юго-юго-восток в период образования этих трещинно-разрывных сетей (верхний торгон—нижний сармат).

Эти данные могут быть согласованы с результатами структурно-парагенетического анализа по карпатскому региону. Так, основной парагенезис пещерных сетей ( $\sigma_1=330\div 340^\circ$ ,  $L=10\div 20^\circ$ ,  $R'=290\div 310^\circ$ ,  $R=0^\circ$ ) соответствует одному из девяти выделенных [Гинтов, 2005] субвертикальных парагенезисов трещин Украинских Карпат. Второй выделенный нами пещерный парагенезис, свойственный лабиринту В пещеры Млынки ( $\sigma_1\sim 20^\circ$ ,  $L=340\div 350^\circ$ ,  $R'=62^\circ$ ), пока не находит аналогии. Однако авторы настоящей статьи не исключают ошибку в интерпретации сопряженных трещин, поскольку отсутствуют непосредственные данные об их соотношениях в связи с невозможностью или крайней затрудненностью этих определений из-за коррозии трещин водой в процессе спелеогенеза. Как возможный иной вариант интерпретации наблюдаемого структурного рисунка лабиринта В могут быть указаны сопряженные сколы Риделя в положениях  $330\text{—}$

$340^\circ$ ,  $20\text{—}30^\circ$  и соответственно меридиональное положение оси главного нормального сжатия ( $\sigma_1=0^\circ$ ). Главные субвертикальные структурные парагенезисы Украинских Карпат, характеризующиеся доминирующим северо-восточным сжатием ( $\sigma_1=55; 65^\circ$ ) [Гинтов, 2005], в пещерных сетях нами не зафиксированы. По-видимому, эти парагенезисы коррелируются с постспелеогенной или доспелеогенной трещиноватостью гипсов, выпадающей из настоящего исследования.

Следует заметить, что при общем тектоническом характере структурных рисунков для всех рассмотренных здесь пещер устанавливается отчетливая связь ориентации значительной части трещин с положением современной оси вращения Земли. В них присутствуют хорошо выраженные меридиональная, широтная и две диагональные системы трещин. Наиболее ярко это свойственно пещере Вертеба, в меньшей мере — остальным (см. рис. 4). Это может свидетельствовать о том, что при реализации тектонических полей частично наследовались направления планетарной (ротационной) трещиноватости. Близкие представления о наложении тектонических напряжений на планетарную сеть трещин высказаны в работе [Андрейчук, 2007] для пещеры Золушка.

**Связь трещиноватости с мезорельефом.** Выявленные особенности трещиноватости гипсовой толщи обнаруживают взаимосвязи с ориентировкой мезолинеаментов рельефа. На космоснимках радарной топографической съемки (Shuttle radar topographic mission — SRTM) обращает внимание, прежде всего, доминирование мезолинеаментов северо-западного простирания ( $290\text{—}310^\circ$ ), обусловленных притоками р. Днестр второго-третьего порядка (первый порядок — реки Серет, Ничлава, Збруч и др.) и чередованием пологих вытянутых низин и возвышенностей (рис. 5). Эти линеаменты образуют плотную равномерно проявленную систему параллельных линий со строго выдержанным азимутом простирания ( $\sim 300^\circ$ ) на большей части территории Подолии ( $\sim 150/300$  км). Строгая параллельность этой системы линеаментов рельефа свидетельствует об ее обусловленности и предопределенности трещинно-разломной сетью пород чехла, а широкое площадное распространение — о регулярном характере поля иницирующих напряжений. Между распределением трещин в гипсовой толще и линеаментами рельефа наблюдается соответствие, выраженное в совпадении нескольких максимумов ( $290\text{—}310$ ,  $335$ ,

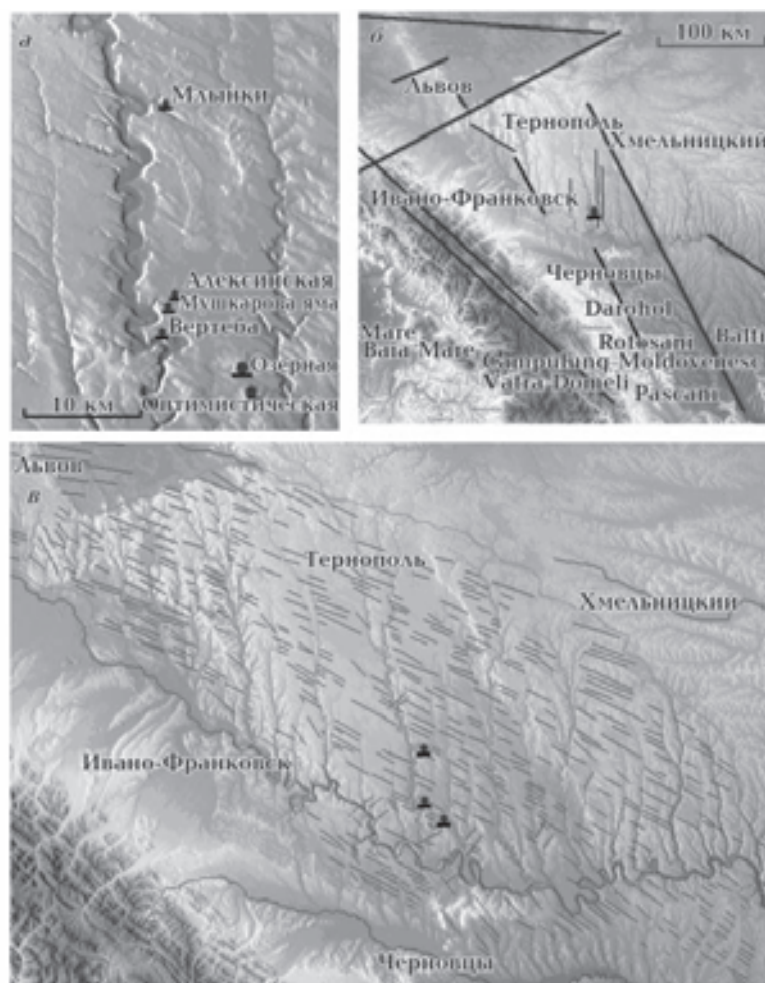


Рис. 5. Пещеры Подолии в структуре линеаментов различных масштабных уровней: *а* — пещеры междуречья рек Серет и Ничлава в сети мезолинеаментов — притоков р. Днестр второго-третьего порядка, вытянутых пологих низин и холмов, *б* — региональная структура крупных линеаментов глубинных разломов, активно проявившихся в альпийское время в зоне сочленения Карпатской складчатой системы и Восточно-Европейской платформы, *в* — область распространения мезолинеаментов рельефа северо-западной системы (~300°) совпадает с областью распространения баденских отложений платформенного чехла Подолии.

45, 30, 0°), в первую очередь максимума 300°. Связь рельефа и трещиноватости пещерных сетей отражается также в общей вытянутости лабиринтов многих пещер Подолии в направлении северо-запад—юго-восток (Млынки, Вертеба, Мушкарова яма, Кристалльная и др.) и такая же ориентировка цепочек молодых карстовых воронок.

В рельефе находят выражение не все системы трещиноватости, проявленные в пещерных сетях. В частности, слабо отражена система 10—20°, хотя трещины этого направления наиболее многочисленны в гипсах. На эту особенность обращал внимание еще И.Д. Гофштейн [1967]. Ответ здесь лежит в избирательном препарировании отдельных направлений трещинно-разрывных сетей чехла поверхност-

ными водами, что определяется сочетанием эндогенных (тектонических) и экзогенных факторов. С одной стороны, лучше препарируются зоны наибольшей раздробленности или плотности трещин, большей их раскрытости (с большей компонентой растяжения), с другой — направления доминирующего поверхностного стока. Общий слабый уклон Подольского плато на юго-восток определяет преимущественный сток поверхностных вод в этом направлении. Как свидетельствуют данные по пещере Млынки, чередование зон повышенной и пониженной плотности трещин в гипсах также вытянуто в направлении северо-запад—юго-восток, что определяет повышенную проницаемость этих зон для поверхностных вод, развитие карстовых процессов, образование пониженных

долин, водораздельных холмов и пр. С этим же направлением связаны постспелеогенные разрывы в гипсах, характеризующиеся значительным раскрытием (10—30 см) стенок, которые могут служить каналами для заложения линейных врезов притоков р. Днестр второго порядка. Совпадение указанных факторов определило формирование сильно анизотропного, с доминированием ориентировок северо-запад—юго-восток, мезорельефа. Таким образом, рельеф Подолии, имеется в виду внутренний рельеф междуречных плато, — результат экзогенной препарировки мезотрещиноватости неоген-четвертичных пород чехла в процессе неотектонических поднятий территории, а не реликтовая поверхность аллювиальной равнины, как это предполагалось в работе [Геренчук, 1950]. Основным доказательством этому служит строгая параллельность и равномерность системы линеаментов рельефа с простиранием  $\sim 300^\circ$  на огромной территории. Эта экзогенная препарировка началась сразу после ухода сарматского моря с территории Подолии, продолжается она и в настоящее время, о чем свидетельствуют цепочки молодых карстовых воронок, вытянутых в направлении северо-запад—юго-восток ( $\sim 300^\circ$ ).

В работе [Климчук, 1999] указывается, что пещеры артезианского происхождения, наиболее выразительным примером которых, по мнению этого исследователя, являются гипсовые пещеры Подолии, не проявляют функциональной связи с современным рельефом. Однако, как свидетельствуют материалы, изложенные выше, наземный рельеф Подолии на мезоуровне имеет отчетливую связь с трещинными сетями пещер. Возможно, такая связь плохо улавливается на уровне локальных мезоформ рельефа — холмов, склонов, понижений, в пределах которых развита конкретная пещера (до 2—5 км<sup>2</sup>), однако на более региональном уровне она очевидна. Это свидетельствует о том, что трещинные сети предопределили формирование не только самих пещер, но и сыграли очень важную роль в моделировании поверхностных форм рельефа Подолии. Очевидно, что глубинный карст связан с рельефом опосредованно через общую систему рельефообразующей и карстоиницирующей трещиноватости.

При сопоставлении трещинных сетей в гипсах с региональными разломными структурами необходимо обращать внимание прежде всего на те, которые были активны в неоген-четвертичное время, а это структуры, четко

проявленные в современном рельефе. К таким структурам первого порядка в первую очередь относятся Кременецкий глубинный шов ( $64^\circ$ ), Толтровый глубинный шов ( $331^\circ$ ), серия фрагментов краевого шва Восточно-Европейской платформы ( $\sim 330^\circ$ ), серия региональных линеаментов Карпат ( $312^\circ$ ), фрагмент глубинного разлома от г. Могилев-Подольский вниз по р. Днестр ( $308^\circ$ ) (см. рис. 5). Именно они определяли общий структурный план региона в неоген-четвертичное время и влияли на формирование трещинно-разрывной сети в гипсах.

**Выводы.** 1. По характеру структурных рисунков пещерные сети обнаруживают связь как с планетарными, так и с тектоническими региональными полями напряжений. Спелеоиницирующая трещиноватость пещерных сетей Подолии относится к разряду региональных тектонических регулярных сетей начального (породного) масштабного уровня, на образование которых существенное влияние оказали планетарные ротационные напряжения в верхнем осадочном слое земной коры. Она образована на этапе литификации гипсов (и в последующее время) под воздействием планетарных ротационных сил с одновременным или запаздывающим наложением слабых региональных полей тектонических напряжений. Последние, в свою очередь, связаны с карпатским орогенезом. Внутренние эндокинематические процессы внутри самой породы в процессе литификации (обезвоживания и пр.) играли роль первичного энергетического источника или катализатора трещинообразования, конкретная же ориентировка их определялась планетарными ротационными и в большей мере региональными тектоническими напряжениями.

2. Влияние литологического фактора на ориентировку трещин, например искажение прямолинейности и субвертикальности трещин в гипсах крупнокристаллической структуры, проявляется лишь на уровне сантиметров—первых метров; более крупный план — метры—первые десятки метров — подчиняется региональным полям ротационных и тектонических напряжений.

3. Спелеоиницирующая трещиноватость гипсов сформирована в несколько этапов, которые фиксируются различными структурными парагенезисами сопряженных сколовых трещин. Выделяются два основных структурных парагенезиса трещин и, следовательно, два основных этапа их образования. По всей ве-

роятности, имеют место и другие этапы, возможно с инверсией напряжений, однако, при условии хрупких деформаций и наличии ранее сформированной густой сетки трещин все последующие этапы деформаций реализуются, используя, как правило, уже готовую сеть. Отделить их друг от друга при этом весьма сложно. Общее суммарное за все время спелеогенеза поле напряжений соответствует главному этапу формирования трещин, который характеризуется положением оси главного нормального сжатия северо-северо-запад—юго-юго-восток (330—340°) при левосдвиговых северо-северо-

запад—юго-юго-восток и правосдвиговых северо-запад—юго-восток деформациях.

4. Трещинные сети в гипсах предопределили формирование не только самих пещер, но сыграли очень важную роль в моделировании поверхностных форм рельефа Подолии.

Авторы считают приятным долгом поблагодарить О. Б. Гинтова, Б. А. Занкевича, А. В. Матошко за конструктивные замечания при обсуждении статьи, а также В. А. Снигура, И. П. Фияла, С. Т. Мусияченко, Д. П. Остапюк за помощь в проведении экспедиционных работ в пещере Млынки.

### Список литературы

- Андрейчук В. Н. Пещера Золушка. — Сосновец—Симферополь: Изд. Силезск. ун-та и Укр. ин-та спелеологии и карстологии, 2007. — 406 с.
- Андрейчук В. Н., Коржик В. П. Пещерная система Золушка // Пещеры. Типы и методы исследования. — Пермь: Изд. Пермск. ун-та, 1984. — Вып. 19. — С. 25—29.
- Геренчук К. И. Геоморфология Подолии // Наук. зап. Чернівецьк. ун-ту. Серія геол.-геогр. наук. — 1950. — 8, Вып. 2. — С. 89—111.
- Гинтов О. Б. Полевая тектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины. — Киев: Феникс, 2005. — 572 с.
- Гинтов О. Б. Планетарные деформации земной коры, ротация Земли и движение литосферных плит // Геофиз. журн. — 2001. — 23, № 4. — С. 69—82.
- Гофштейн И. Д. Тектоническая трещиноватость осадочных пород в среднем течении Днестра // Изв. АН СССР. Сер. геол. — 1952. — № 6. — С. 108—117.
- Гофштейн И. Д. Тектоническая трещиноватость и гипсовый карст Подолии // Изв. Всесоюз. геогр. об-ва. — 1967. — 99, вып. 6. — С. 501—504.
- Грачев А. П. Топографо-геодезические работы в горизонтальных пещерах. Практические рекомендации для спелеотопографа. — 2011. — [http://nature.land.kiev.ua/Library/topographic\\_work\\_in\\_caves.pdf](http://nature.land.kiev.ua/Library/topographic_work_in_caves.pdf)
- Дублянский В. Н., Смольников Б. М. Карстолого-геофизические исследования карстовых полостей Приднестровской Подолии и Покутья. — Киев: Наук. думка, 1969. — 151 с.
- Климчук О. Б. Гідрогеологічні умови розвитку і генезис карстових порожнин в неогенових сульфатних відкладах Волино-Подільського артезіанського басейну: Автореф. дис. ... канд. геол. наук. — Київ, 1999. — 25 с.
- Климчук А. В., Андрейчук А. Н., Турчинов И. И. Структурные предпосылки спелеогенеза в гипсах Западной Украины. — Киев: Укр. спелеол. ассоциация, 1995. — 104 с.
- Климчук А. Б., Рогожников В. Я. Сопряженный анализ истории формирования пещерной системы (на примере пещеры Атлантида). — Киев: Изд. ИГН АН УССР, 1982. — 56 с.
- Корженевский Б. А., Рогожников В. Я. О значении контракционной трещиноватости в формировании карстовых лабиринтовых систем в гипсах Подолии // Вопросы генезиса, динамики, формирования подземных вод и воднофизические свойства пород УССР. — Киев: Наук. думка, 1978. — С. 147—152.
- Кучерук А. Д. Карст Подолья. — Киев: Наук. думка, 1976. — 197 с.
- Ломаев А. А. Геология карста Волино-Подолии. — Киев: Наук. думка, 1979. — 130 с.
- Печеркин А. И. Связь крупных пещерных систем сульфатного карста с распределением тектонической трещиноватости // Пещеры: Методика изучения: Межвуз. сб. науч. тр. — Пермь: Изд. Пермск. ун-та, 1986. — С. 48—57.
- Планетарная трещиноватость / Под ред. С. С. Шульца. — Ленинград: Изд-во Ленингр. ун-та, 1973. — 176 с.
- Покалюк В. В., Дорошенко А. Н., Терещенко С. И. Мегасферолиты в гипсах Приднестровья (происхождение и влияние на спелеогенез) // Минерал. журн. — 2011. — 33, № 2. — С. 15—24.
- Шафранская Н. В. Алгоритм построения круговых структурных диаграмм, реализованный в ГИС-среде // Геоинформатика. — 2011. — № 1. — С. 1—4.
- Шульц С. С. Планетарные трещины // Геотектоника. — 1971. — № 3. — С. 18—34.