

УДК 551.44

**К.О. Худеньких**

**ПРОВЕДЕНИЕ МОНИТОРИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
В ЕСТЕСТВЕННЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТКАХ  
С ЦЕЛЮ ИХ БЕЗОПАСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
(НА ПРИМЕРЕ КУНГУРСКОЙ ЛЕДЯНОЙ ПЕЩЕРЫ)**

*В статье рассмотрена комплексная система мониторинга в Кунгурской Ледяной пещере, которая включает в себя гляциологические, микроклиматические, гидрогеологические и гидрохимические наблюдения. По результатам исследований выявляются наиболее опасные участки пещеры, где велика вероятность возникновения обрушения кровли сводов гrotов.*

*Ключевые слова: Кунгурская Ледяная пещера, мониторинг комплексный, обрушение кровли, зоны ослабленные.*

**Семинар № 12**

**К**унгурская Ледяная пещера (далее — КЛП) является естественной подземной выработкой и посещается с 1914 г. Пещера заложена в основном в сульфатных породах, в гротах нередко происходят обвалы, что ставит вопрос безопасности ее посещения и эксплуатации довольно остро. До недавнего времени существовал лишь единственный способ выявления обвалоопасных участков — визуальный осмотр. Но как показывает сложившаяся ситуация, этого метода явно недостаточно для своевременного выявления ослабленных зон и тем более для прогнозов обрушения кровли сводов гrotов. Чтобы выявить все факторы, тем или иным образом оказывающие влияние на процесс обвалообразования, в КЛП действует единая система мониторинга, которая включает в себя несколько направлений.

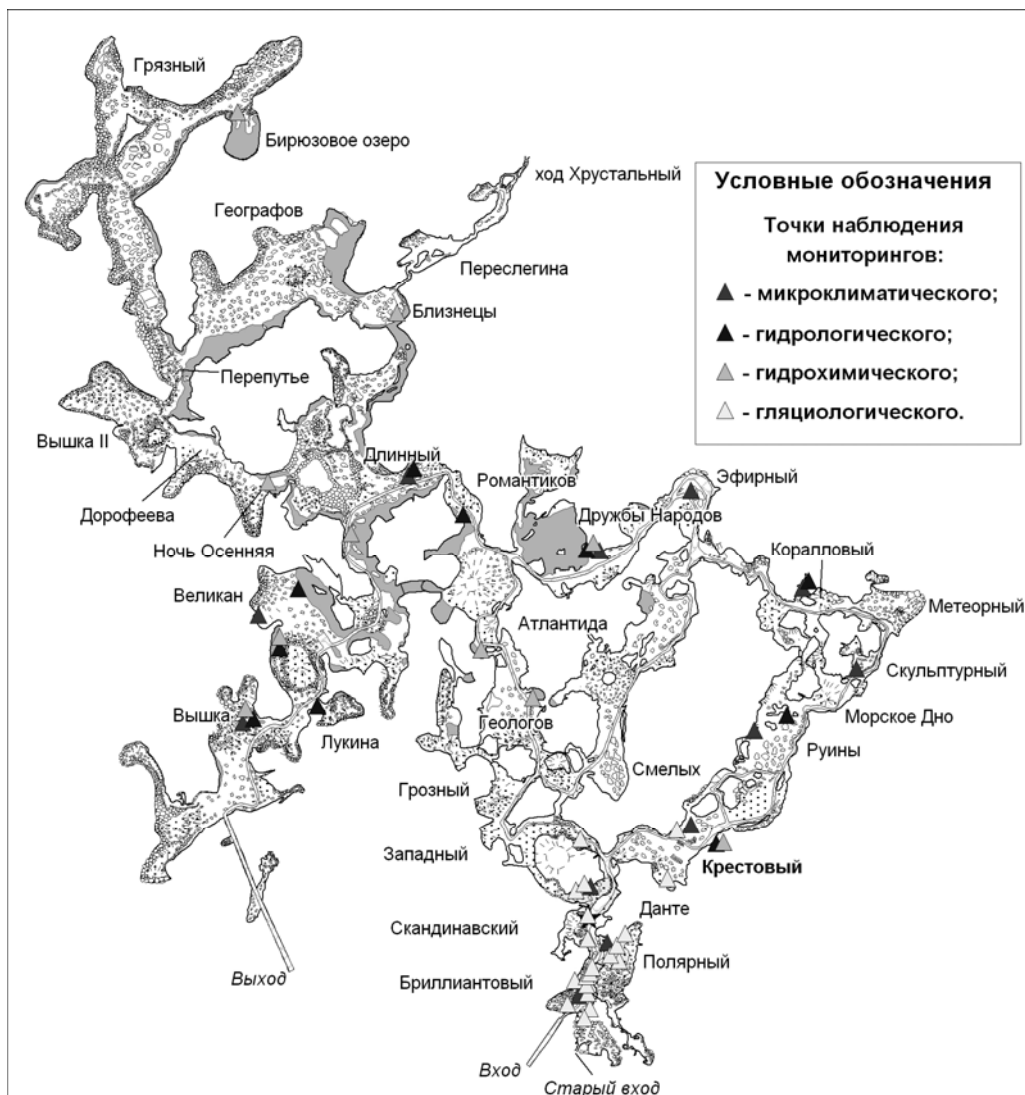
Режимные наблюдения в КЛП проводятся на протяжении уже более 50 лет. Исследования проводятся по четырем основным направлениям: наблюдения за состоянием ле-

дяных образований КЛП (гляциологический мониторинг), наблюдения за температурным режимом, направлением и скоростью движения воздушных масс (микроклиматический мониторинг), наблюдения за колебанием уровней воды в озерах и скважинах КЛП (гидрогеологический мониторинг) и наблюдения за химическим составом воды в озерах, скважинах и капели (гидрохимический мониторинг).

В настоящее время система микроклиматического мониторинга включает в себя 12 наблюдательных постов, гляциологического — 22, гидрологического — 10, гидрохимического — 10 (рис. 1). Измерения в рамках всех мониторингов проводятся раз в месяц (15-го числа). Во время паводка на р. Сылва измерения в рамках гидрогеологического мониторинга проводятся ежедневно.

**Гляциологический мониторинг**

Система гляциологического мониторинга представляет собой сеть реперов, которые установлены в многолетних ледяных образованиях (рис. 2).



**Рис. 1. Схема расположения наблюдательных постов в КЛП**

По данным реперам ведется наблюдение за процессами нарастания, таяния и испарения льда. Также производится наблюдение за ростом ледяных кристаллов и их изменением. Всего установлено 22 репера, однако 6 из них на 15.11.2008 г. не функционируют по причине полного вытаявания из ледяного массива. Замеры по реперам проводятся ежемесяч-

но. Два раза в год проводится полное описание всех ледяных форм, имеющих в пещере (периоды максимального и минимального оледенения).

Система данного мониторинга позволяет определить зоны постоянного и сезонного оледенения, с точки зрения возникновения обрушений кровли сводов, наибольший интерес представляет зона сезонного оледенения.



**Рис. 2.** Существующая и предлагаемая системы гляциологического мониторинга в КЛП

Именно в этой зоне процесс намерзания и таяния льда оказывает непосредственное влияние на устойчивость сводов гротов. По результатам многолетних наблюдений был выявлен грот (Данте), где велика вероятность возникновения обрушения кровли, что подтвердилось таким обрушением, произошедшим 15.09.2008 г. В настоящий момент на своде грота установлены маячки, т.к. возможность возникновения новых обрушений остается весьма вероятной.

Однако система гляциологического мониторинга охватывает не всю часть пещеры, где имеются постоянные и сезонные ледяные образования. В связи с этим в 2008 г. было принято решение о реконструкции и расширении системы данного мониторинга. Новая система полностью охватит часть пещеры, где имеются постоянные и сезонные ледяные образования.

Это в первую очередь связано с началом активной экскурсионной деятельности в пределах не только Большого, но и Малого экскурсионного кольца, что в свою очередь делает актуальными вопросы безопасности в этой зоне, а также позволит получить новые данные об этой части пещеры, которая остается недостаточно изученной. На рис. 2 представлены существующая и новая (предлагаемая) система наблюдательных реперов, основанная на анализе результатов многолетних гляциологических мониторинговых исследований прошлых лет в КЛП.

#### **Микроклиматический мониторинг**

Основной целью микроклиматического мониторинга в КЛП является определение декадных и годовых особенностей воздушной циркуляции (направление, скорость движения

воздуха) и температурных характеристик воздуха, на основе чего выделяются ослабленные зоны, где возможны обрушения кровли сводов.

В 2007 г. в КЛП была проведена воздушно-депресссионная съемка. Были выявлены направление и скорости движения воздушных масс в пределах экскурсионной части пещеры. Также по результатам этой съемки были определены места в пещере, где происходит интенсивные воздухообмен с поверхностью. Именно такие зоны необходимо считать ослабленными, здесь вероятность обрушения кровли сводов гротов весьма велика. Примером может служить грот Дружбы Народов, где 23.02.2003 г. произошел обвал над экскурсионной тропой, вследствие чего было принято решение о перенесении тропы из центра грота к правой стене грота. Еще одной выявленной ослабленной зоной является грот Колизей, в котором в августе 2008 г. также было зафиксировано обрушение кровли свода.

В рамках микроклиматического мониторинга проводятся также регулярные наблюдения за изменением температуры воздуха в гротах КЛП. Измерения проводятся в 12 гротах ежемесячно: Бриллиантовый; Полярный; Данте; Крестовый; Руины; Скульптурный; Коралловый; Эфирный; Дружбы Народов; Длинный; Великан; Вышка. Результаты этих замеров позволяют дать временную характеристику процессам намерзания и стаивания ледяных образований, что позволяет более конкретизировать прогноз обвалообразования в гротах КЛП.

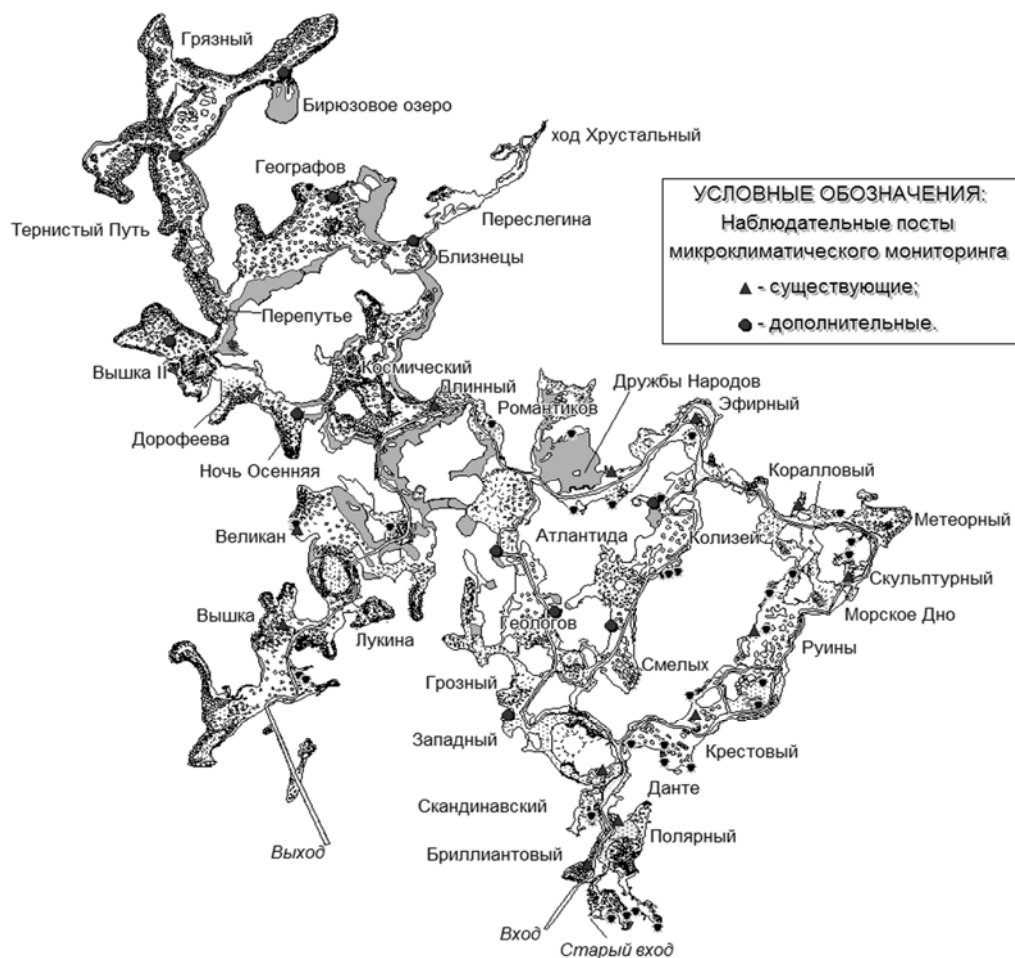
Для более полной картины изменения температуры в гротах КЛП существующих метеопостов недостаточно. Доподлинно известно, что на Ма-

лом экскурсионном кольце имеются многолетние и сезонные ледяные образования, однако температурный мониторинг там не ведется. Тем не менее, по результатам воздушно-депресссионной съемки, выполненной в 2007 г., воздух, циркулирующий по Малому кольцу, оказывает огромное влияние на температурный режим гротов, находящихся в пределах Большого экскурсионного кольца. Поэтому для выявления полной картины микроклиматических изменений в КЛП крайне необходимо создать дополнительные метеорологические посты в пределах Малого кольца, а именно в гротах Западный, Смелых, Колизей, Геологов, Атлантида, а также в гротах Заповедной части пещеры (Ночь Осенняя, Вышка 2, Близнецы, Географов, Тернистый Путь, Бирюзовое Озеро). Также необходимо установить дополнительный термометр в нижней части грота Вышка, для отслеживания температуры в нижних, более холодных слоях этого грота (рис. 3), т.к. в этом гроте также довольно часто происходят обрушения кровли свода, последнее из которых было зафиксировано 2.01.2009 г.

Настоятельно рекомендуется продолжить работу по изучению циркуляции воздушных масс в пределах Заповедной части пещеры. Также крайне необходимо возобновить такие виды измерений как определение влажности, газового состава, температуры горных пород, воды и др.

#### **Гидрогеологический мониторинг**

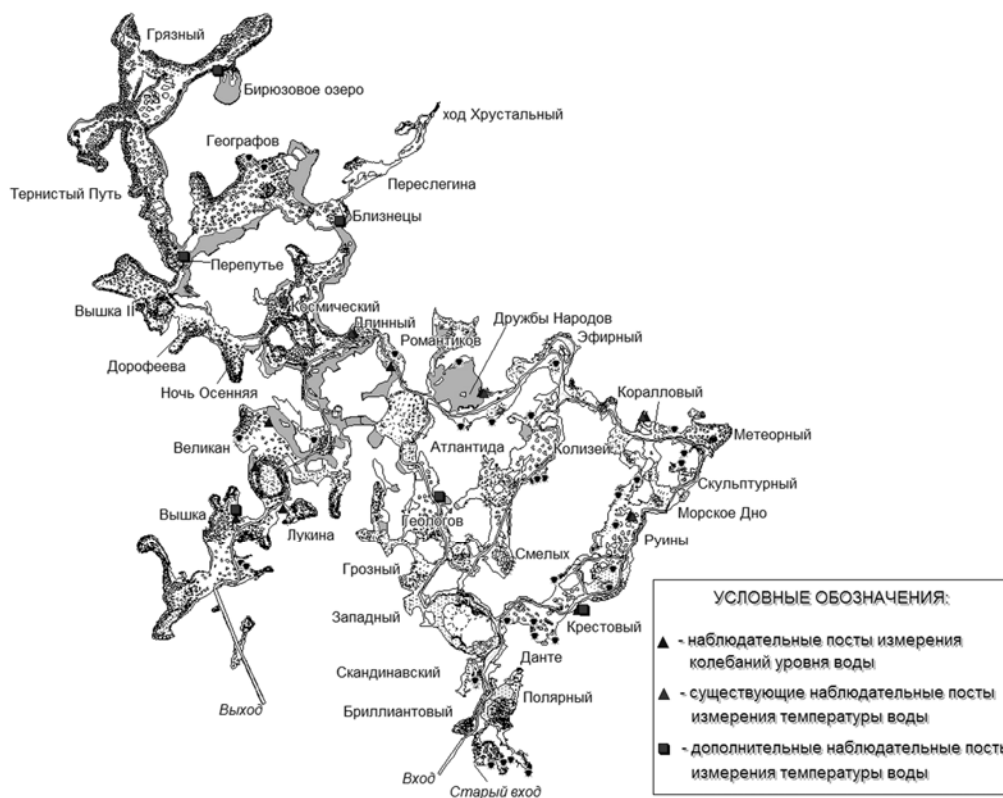
КЛП дает уникальную возможность наблюдения за режимом карстовых вод в течение всего года. Характерными водными объектами КЛП являются озера. Самым большим является Большое Подземное озеро, расположенное в гроте Дружбы Народов (площадь поверхности 1460 м<sup>2</sup>).



**Рис. 3. Местоположение существующих и дополнительных наблюдательных постов метеорологического мониторинга в КП**

Непосредственное влияние на уровни озер КП оказывают воды р. Сылва, находящейся в 130 м от входа в пещеру. Во время весеннего паводка происходит интенсивное поступление слабоминерализованных паводковых вод в массив Ледяной горы, в пределах которой заложена пещера, что в свою очередь обуславливает интенсивное растворение гипсов и ангидритов. Также огромное влияние на процесс ослабления сводов оказывают талые инфильтрационные воды.

Уровни воды в озерах измеряются ежемесячно, а во время паводка периодичность замеров значительно учащается. Наблюдательные посты расположены в следующих гротах: Крестовый (шурф); Руины (скважина); Коралловый (скважина); Дружбы Народов (озеро); Романтиков (озеро); Длинный (северное озеро); Великан (северное озеро); Великан (южное озеро); Лукина (озеро); Вышка (озеро). К сожалению гидропосты отсутствуют в Заповедной части пещеры. Это свя-



**Рис. 4. Наблюдательные посты системы гидрогеологического мониторинга**

зано с тем, что во время высоких уровней воды в озерах КЛП, доступ в эту ее часть весьма затруднен.

Накопление многолетних данных о колебаниях уровней воды на гидропостах КЛП позволяет давать краткосрочные и среднесрочные прогнозы о возможном максимальном подъеме уровня воды на каждом гидропосту. Проведение дополнительных гидрогеологических исследований позволит рассчитать количество растворенной и вынесенной на поверхность породы. Однако, уже сейчас наличие озер и капели в гротах КЛП позволяет считать такие гроты наиболее обвалоопасными.

Также в водных объектах КЛП измеряется температура воды. Замеры проводятся в следующих наблюда-

тельных пунктах: скважины в гротах Руины и Коралловый, озера в гротах Дружбы Народов и Длинный. Однако данных, получаемых с этих наблюдательных постов недостаточно, чтобы наиболее полно охарактеризовать температурный режим водных объектов КЛП, а также выявить закономерности его колебания в зависимости от изменения микроклиматических условий как в пещере, так и на поверхности. Поэтому возникает необходимость установки дополнительных постов наблюдений, которые предполагается разместить в пределах экскурсионной части пещеры (шурф в гроте Крестовый, озера в гротах Геологов, Вышка) и в Заповедной ее части (озера в гротах Перепутье, Близнецы, Бирюзовое Озеро, рис. 4).

### Гидрохимический мониторинг

Основной целью гидрохимического мониторинга в КЛП является определение растворяющей способности воды в озерах и капели, а также определение уровня загрязнения и выявление путей поступления загрязняющих веществ. Вода в озерах пещеры имеет сульфатно-кальциевый химический состав, минерализацию более 2 г/л.

Пробы отбираются на химический и бактериологический анализы, оценка результатов производится через ПДК.

Пробы воды отбираются из разных источников в следующих гротах: Крестовый (шурф); Дружбы Народов (Большое Подземное озеро); Геологов (озеро); Атлантида (озеро); Длинный (южное озеро); Великан (южное озеро); Вышка (озеро); Близнецы (озеро); Бирюзовое озеро (озеро); Ночь Осенняя (капель).

Химический анализ проб воды включает в себя исследования по следующим показателям: рН, минерализация (сухой остаток, (мг/л)), жесткость (мг-экв/л), содержание железа (Fe суммарно, мг/л), нитратов ( $\text{NO}_3^-$ , мг/л), сульфатов ( $\text{SO}_4^{2-}$ , мг/л), хлоридов ( $\text{Cl}^-$ , мг/л), меди (Cu суммарно, мг/л), цинка ( $\text{Zn}^{2+}$ , мг/л), аммиака (по азоту, мг/л). Бактериологический анализ включает в себя определение общего микробного числа (мл), наличие общих колиформных бактерий (мл), термотолерантных колиформных бактерий (мл), колифагов (мл), а также определяется ОМЧ при  $t = 37^\circ\text{C}$  и при  $t = 22^\circ\text{C}$ .

Пробы на химический анализ отбираются в пластиковую посуду объемом не менее 1 л. Посуда перед отбором в нее пробы тщательно промывается, споласкивается не менее 5 раз и тщательно просушивается. Перед

отбором пробы посуда еще раз прополаскивается водой из источника, из которого производится отбор пробы на анализ. Пробы на бактериологический анализ отбираются в стерильную стеклянную посуду (0,5 л), которую выдают работники СЭС. Пробы на бактериологический анализ отбираются черпаком. Перед отбором каждой пробы черпак обрабатывается спиртом и обжигается, чтоб исключить возможность попадания бактерий из другого источника, а также с рук (если проба отбирается непосредственно в бутылку путем опускания ее в водоем).

Пробы воды отбираются в меженный период и в период паводка на р. Сылва (соответственно поздней осенью и весной).

При интерпретации результатов анализов проб воды в рамках гидрохимического мониторинга пока не удастся выявить никакой закономерности изменения минерализации в зависимости от удаленности водного объекта от р. Сылвы. В некоторых озерах во время паводка минерализация возрастает (озера в гротах Геологов, Дружбы Народов, Длинный, Бирюзовое озеро), в некоторых — уменьшается (озера в гротах Атлантида, Великан, Вышка, Близнецы). Для установления каких-либо закономерностей требуется более длинный ряд наблюдений, включающий в себя несколько лет непрерывных отборов проб из водных объектов КЛП.

В некоторых пробах в весенний паводковый период отмечается повышенное содержание железа, хлоридов и нитратов. Поступление загрязняющих веществ обусловлено наличием свалки, расположенной в 1,8 км от КЛП. Тем не менее, бактериологических загрязняющих веществ в



**Рис. 5. Точки отбора проб воды системы гидрохимического мониторинга**

пробах воды обнаружено не было. В настоящее время идет рекультивация свалочного полигона, что должно положительно сказаться на состоянии водных объектов КЛП.

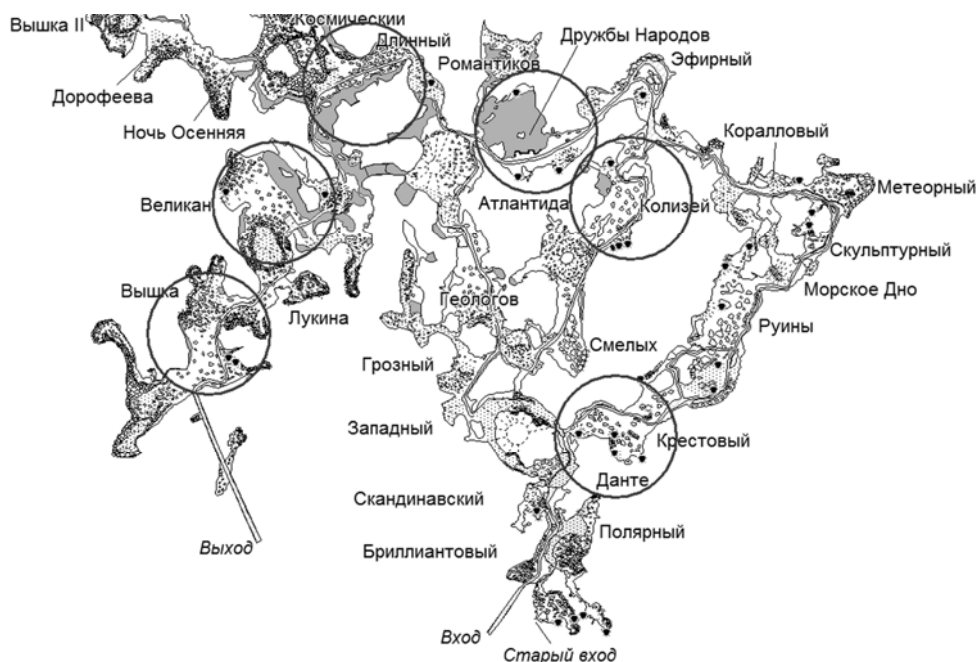
Для более полной характеристики растворяющей способности вод, поступающих в КЛП, выявления закономерностей увеличения-уменьшения минерализации, а также для установления путей иммиграции загрязняющих веществ рекомендуется увеличить сеть пунктов отбора проб: необходимо отбирать пробы капли в гротах Эфирный, Мокрая Кочка, Длинный, Ночь Осенняя, Географов, пробы во-

ды из озер в гротах Колизей, Мокрая Кочка, Романтиков, Ночь Осенняя, Перепутье, Географов, а также пробы воды из скважин, расположенных в гротах Руины и Коралловый (рис. 5).

### **Заключение**

На основе результатов, полученных в ходе проведения комплексного мониторинга в КЛП, выделяется несколько наиболее неустойчивых к обрушениям участков в пещере: это гроты Данте, Дружбы Народов, Колизей, Длинный, Великан и Вышка (рис. 6). Это подтверждается наличием зарегистрированных обвалов в этих гротах. Велика вероятность воз-





**Рис. 6. Наиболее неустойчивые участки в К/ЛП (обозначены окружностями)**

никновения новых обрушений в гротах Данте, Дружбы Народов, Колизей и Вышка. Для этих гротов необходимо осуществить тщательную геологическую и тахеометрическую съемку сводов, с помощью которых удастся локализовать наиболее опасные участки. Выявление этих участков позволит предотвратить несчастные случаи (в том числе с участием людей). В свете всего вышесказанного очевидно, что необходимо продолжать вести все мони-

торинговые наблюдения, но также расширять сеть наблюдательных пунктов в системе каждого направления мониторинга и вводить (в некоторых случаях возобновлять) исследования, например влажность воздуха, температура горных пород, гидрогеологические исследования, что в будущем позволит дать высокоточную картину ситуации устойчивости кровли сводов во всех гротах и тоннелях Кунгурской Ледяной пещеры. **ИАС**

**Коротко об авторе**

*Худеньких К.О.* — младший научный сотрудник Кунгурской лаборатории-станции Горного института Уральского отделения Российской академии наук, e-mail: PrVoland@yandex.ru, icecave@mi-perm.ru., website: www.mi-perm.ru.

