

**АМИРАНАШВИЛИ А.Г., ДЖИШКАРИАНИ Д.М., НОДИЯ А.Г.,  
СЕПИАШВИЛИ Р.И., ТАТАШИДЗЕ З.К.**

**СОДЕРЖАНИЕ АЭРОИОНОВ И  
ЕСТЕСТВЕННАЯ РАДИО-  
АКТИВНОСТЬ ВОЗДУХА  
В ЦХАЛТУБСКОЙ ПЕЩЕРЕ**

**Т Б И Л И С И  
1994**

АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ ГРУЗИЯ  
Отделение наук о Земле  
Институт геофизики им. М. З. Нодия  
Институт географии им. Вахушти Багратиони  
НИИ клинической иммунологии и аллергологии г. Цхалтубо

АМИРАНАШВИЛИ А.Г., ДЖИШКАРИАНИ Д.М., НОДИЯ А.Г.,

СЕПИАШВИЛИ Р.И., ТАТАШИДЗЕ З.К.

СОДЕРЖАНИЕ АЭРОИОНОВ И ЕСТЕСТВЕННАЯ  
РАДИОАКТИВНОСТЬ ВОЗДУХА В ЦХАЛТУБСКОЙ ПЕЩЕРЕ

Т Б И Л И С И

1994

საქართველოს მეცნიერებათა აკადემია  
დედამიწის შემსწავლელ მეცნიერებათა განყოფილება  
მ.ზ. ნოდias სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი  
ვახუშტი ბაგრატიონის სახელობის გეოგრაფიის ინსტიტუტი  
კლინიკური იმუნოლოგიისა და ალერგოლოგიის წყალტუბოს  
სამეცნიერო კვლევითი ინსტიტუტი

ამირანაშვილი ა.გ., ჯიშკარიანი ჯ.მ., ნოდია ა.გ.,

სეფიაშვილი რ.ი., ტატაშიძე ზ.კ.

წყალტუბოს მღვიმის ჰაერის ბუნებრივი რადიოაქტივობა  
და აეროიონების შემადგენლობა

თ ბ ი ლ ი ს ი

1994

ACADEMY OF SCIENCE OF GEORGIA  
Department of Earth Sciences  
M.Z. Nodia Institute of Geophysics  
Vakhushti Bagrationi Institute of Geography  
Tskaltubo Scientific – Research Institute of  
Clinical Immunology and Allergology

Amiranashvili A.G., Jishkariani J.M., Nodia A.G.,  
Sepiashvili R.I., Tatashidze Z.K.

NATURAL AIR RADIOACTIVITY AND AEROIONS  
IN TSKALTUBO CAVE

T B I L I S I

1994

В работе представлены предварительные результаты исследования содержания в воздухе Цхалтубской пещеры легких ионов, а также радона и короткоживущих продуктов его распада. Приведены также некоторые данные о микроклимате пещерного воздуха (температура, влажность, содержание в воздухе аэрозолей и озона). Обоснована возможность использования пещеры для туристско-экскурсионных и лечебных целей. Предназначена для научных работников, инженеров, врачей, связанных в своей деятельности с проблемами спелеологии, спелеотерапии, климатологии, физики атмосферы, экологии, радиометрии, радиологии.

ნაშრომში მოყვანილია წყალტუბოს მღვიმის ჰარში მსუბუქი იონების, ასევე რადონის და მისი დაშლის პროდუქტების შემადგენლობის კვლევის წინასწარი შედეგები. მოცემულია მღვიმის ზოგიერთი მიკროკლიმატური მახასიათებლები (ჰაერის ტემპერატურა, სინოტივე, ჰაერში აეროზოლებისა და ოზონის შემცველობა). დასაბუთებულია მღვიმის ტურისტულ-საექსკურსიო და სამკურნალო მიზნით გამოყენების შესაძლებლობა. განკუთვნილია მეცნიერ მუშაკებისათვის, ინჟინრებისათვის, ექიმებისათვის, რომლებიც თავიანთი საქმიანობით დაკავშირებული არიან სპელეოლოგიის, სპელეოთერაპიის, კლიმატოლოგიის, ატმოსფეროს ფიზიკის, ეკოლოგიის, რადიომეტრიის, რადიოლოგიის პრობლემებთან.

Preliminary results of investigation of small ions as well as radon and their short living disintegration products in the air of Tskaltubo cave are presented in the book. Some data on microclimate of the cave (temperature, humidity, aerosols content and ozone) are also set forth. The possibility of employment the cave for tourism and medical purposes is well founded. The book is designed for research workers, engineers, physicians, people who are concerned through their activity with the problems of speleology, speleotherapy, climatology, physics of atmosphere, radiometry, radiology.

## ВВЕДЕНИЕ

Карстовые полости и высокодебитные вклюдские источники имеют большое народнохозяйственное и культурное значение.

В последнее время происходит интенсивное вовлечение карстовых пещер в сферу деятельности человека [Максимович, 1963; Дублянский, 1971; Гвоздецкий, 1972; Маруашвили, 1973; Кипиани, 1974; Тинтилозов, 1976; Горбунова, Максимович, 1989 и др.].

В связи с ростом популярности спелеологии, сопровождающейся увеличением посетителей пещер, освоением полостей, их вод и отложений, воздуха, возникает угроза потери редких спелеообъектов. Использование пещеры должно происходить из учета ее ценности, необходимости сохранения ее природных микроклиматических свойств, одновременно с мероприятиями по ее охране.

Одной из важных областей использования пещер является организация спелеолечебниц. В работах [Хатиашвили, 1989; Ушверидзе и др., 1989] обосновано применение некоторых карстовых пещер Грузии для лечения бронхиальной астмы, гипертонических болезней и др. Авторы работ указывают на эффективность спелеотерапии для лечения многих заболеваний.

Важнейшими компонентами воздуха пещер является ее естественная радиоактивность и содержание легких ионов. Состав аэроионов определяется, в основном, содержанием в воздухе альфа излучающих изотопов радона и короткоживущих продуктов их распада. Известно, что в замкнутых объемах содержание этих компонентов на несколько порядков выше, чем в атмосферном воздухе. Более того, содержание естественной радиоактивности и аэроионов в воздухе пещер подвержено значительным колебаниям, вызванных различными причинами (проветриванием объема и нарушением радиоактивного равновесия между почвенным ураном, торием,

радоном и торонем в воздухе, изменением давления и влажности в пещере, меняющих эксхалацию газов с ее поверхности и др.). Поэтому важность исследования естественной радиоактивности воздуха пещер и ее аэроионизационного состояния сомнений не вызывает. К сожалению, в Грузии, да и за рубежом, таких комплексных исследований не так уж и много. Можно отметить работы [Данелия, 1975; Ушверидзе и др., 1989; Балабуев и др., 1977; Tardy, 1988; Hiro, 1989; Fodor, 1981; Kessler, 1985; Gadorov, 1986; Амиранишвили и др., 1993].

Данная работа выполнена по инициативе Цхалтубского НИИ клинической иммунологии и аллергологии (директор института, академик Р.И. Сепиашвили). В последующих разделах будут представлены результаты исследований аэроионизационного состояния, естественной радиоактивности воздуха, а также некоторых микроклиматических характеристик (температура и влажность воздуха, скорость ветра, содержание в воздухе озона, аэрозольей) Цхалтубской пещеры. Измерения указанных параметров проводились 2, 3, 4 сентября, 2 октября 1992 года и 8, 9 июля 1993 года. В проведении исследований принимали участие сотрудники Института геофизики АН Грузии: Д.Ф. Харчилава, Д.Д. Киркитадзе, Р.Л. Хиджакадзе, Г.В. Никифоров, В.А. Чихладзе. Авторы приносят им глубокую благодарность за активное участие в работе.

## **1. Краткая карстово-спелеологическая характеристика Цхалтубской пещеры**

На Южном склоне большого Кавказа (в пределах Грузии) простирается горно-холмистая известняковая полоса, длиной 325 км, расчлененная транзитными речными ущельями (Бзыбь, Ингури, Цхенисцкали, Техури, Риони и др.) на обособленные карстовые массивы (Арабика, Бзыбский массив, Мингария, Асхи, Хвами, Рачинский и др.). Среди них в последнее время особое внимание привлекает Цхалтубский массив, расположенный в междуречье Цхенисцкали-Риони – район исключительно интенсивного развития карстовых явлений. На массиве наряду с гигантскими воронками, постоянно и эпизодически действующими воклюзскими источниками, подземными реками, эставеллами и др. широко встречаются карстовые полости как современной генерации, так и минувших эпох. Причем многие из этих полостей разрабатывались не столько при воздействии свободных водотоков, сколько в условиях фреатического режима.

Для рассматриваемого района характерно двухярусное геологическое строение. На жестком субстрате Закавказского срединного массива, сложенным докембрийскими кристаллическими породами, залегает осадочный чехол, представленный мезокайнозойскими отложениями. Система карстовых полостей приурочена, в основном, к нижнемеловым образованиям (готерив-барремские известняки, мощностью 150-300 м), составляющим единый известняковый массив. Развитие карстовых явлений здесь определяется его тектоническим строением и другими благоприятными условиями. Рассматриваемая территория относится к Окрибо-Сачхерской геотектонической подзоне Грузинской глыбы, точнее к ее южной части,

которая представлена единой крупной моноклиной с юго-западным падением, кое-где осложненной субширотными брахиформными складками и флексуобразными изгибами [Какабадзе и др., 1986].

Цхалтубский массив дренируется реками Губисцкали, Куми, Цхалтубо и ее притоками. Массив расположен на стыке двух различных геоморфологических и тектонических единиц. Южная часть массива расположена на Колхидской аллювиальной равнине, а северная – на южном крыле Окрибской антиклинали. Физико-географические условия массива – небольшие высоты (100 – 500 м над. ур. моря) и близость Черного моря (70 км), оказывают непосредственное влияние на формирование климата. В этом отношении необходимо подчеркнуть роль меридионально расположенного Сурамского хребта, являющегося ветрозащитным. Юго-западные склоны принимают основную массу влаги, поступающей с моря западными течениями. Кроме этого, он ослабляет скорость восточных и северо-восточных ветров, господствующих в Западной Грузии. Благодаря Самгуральскому хребту на массиве материковые ветры не развиты так интенсивно, как это имеет место в незащищенных местах Колхидской низменности. Западные склоны хребта, обращенные к морю, хорошо вентилируются слабыми бризами и горно-долинными ветрами.

В окрестностях Цхалтубо среднегодовая сумма осадков – 1800-2000 мм, а среднегодовая температура воздуха – 15.0 °С (среднегодовая температура воздуха летом – 23.3 °С, а зимой – 6.3 °С). Продолжительность солнечного сияния в среднем за год – около 2000 часов.

В целом Цхалтубский массив характеризуется значительным положительным балансом тепла, мягкой зимой, сравнительно жарким летом, средней увлажненностью, умеренной вентиляцией, резко выраженным действием местных западных ветров.

Цхалтубская пещера расположена на расстоянии 6 км к СВ от курорта Цхалтубо на высоте 140 м над ур. моря. Открыта в 1984 г. Экспедиционным отрядом Института географии им. Вахушти Багратиони АН Грузии (Джишкариани Д. /руководитель/, Джамришвили А., Капанадзе В., Кобулашвили Е., Нижарадзе В.). Постановлением Совета министров Грузинской республики принято решение по благоустройству пещеры и прилегающей территории для массового посещения. Институту географии было поручено руководство всеми научно-исследовательскими работами. На основе комплексной научной программы проведены спелеологические, географо – геологические, микроклиматические, геофизические исследования. Изучены основные спелеологические черты Цхалтубского массива, закартированы до сих пор неизвестные карстовые полости; изучены генетические типы субтерральных отложений; установлены структурные и генетические типы карбонатных образований, слагающих пещеру. Экспериментально изучены плотностные, прочностные, упруго-деформационные свойства горных пород. Геофизическими наблюдениями выявлены перспективные участки для будущих спелеоисследований. Определены микроклиматические элементы и газовый состав пещерного воздуха (температура, влажность, скорость ветра, содержание аэрозолей в воздухе, естественная радиоактивность, ионизация, бактериологическое состояние пещерного воздуха, почвы и воды полости и др.). Разработаны практические рекомендации по благоустройству пещеры [Джишкариани и др., 1989].

В выполнении научной программы совместно с Институтом географии им. Вахушти Багратиони в разное время принимали участие Геологический институт им. А. Джанелидзе, институты геофизики им. М. Нодиа и горной механики им. А. Цулукидзе Академии наук Республики,

Тбилисский Государственный Университет, НИИ мелиорации и гидротехники, гидрометслужба Республики, НИИ санитарии и гигиены им. Г. Натадзе, НИИ клинической иммунологии и аллергологии г. Цхалтубо, а также спелеотуристские секции г.г. Тбилиси, Москвы, Санкт-Петербурга, Красноярска, Ростова на Дону и др. Топосъемку пещеры выполнило Предприятие № 4; проект благоустройства пещеры и прилегающей территории разработан в бюро архитектуры при техническом университете г. Тбилиси (авторы проекта – проф. В. Давитая и Э. Суджашвили).

Пещера заложена в толстослоистых и массивных известняках барремского возраста (ургонская фация), полого (10-15°) падающих на ЮЗ, глубина залегания 8-52 м. Преобладают две системы вертикальных и круто падающих диогенетических трещин: одна из них следует по азимуту падения слоев, простираясь на ЗСЗ 270-280° - ВЮВ 90-100° или СВВ 80-90° ЮЗЗ 260-270°; другая ориентированна по простиранию слоев, т. е. субмеридионально, отклоняясь от нулевого меридиана на запад и восток в пределах 5-10°. В формировании полости несомненно сыграли роль поверхности напластования пород или диастромы [Кавелашвили и др., 1989].

Пещерная система состоит из нескольких морфологически отличающихся друг от друга частей. Основная магистраль пещеры, подлежащая благоустройству (1300 м) состоит из серии залов, разобщенных узкими проходами. Пещера Офичо – СВ продолжение Цхалтубской пещеры лишена натекв; для нее характерны водно-механические отложения; полости Брегисцкали и Мелаури отличаются мощными гравитационными глыбовыми отложениями и высоким сводом (40-50м). Экспериментальными исследованиями доказано, что Цхалтубская пещера, Офичо, Бгери и Глиана составляют единую

гидрогеологическую систему, суммарной длиной 11500 м (закартированная часть на 1.01.1993 г.).

В отличие от знаменитой Новоафонской пещеры, где натечно-капельные и минеральные агрегаты сохранились, в основном, в северных залах, Цхалтубская пещера характеризуется обилием натечных образований по всей магистрали, подлежащей благоустройству, причем, с нарастающим богатством и разнообразием сталактито – сталагмитовых агрегатов. В нижнем этаже пещеры (в зоне периодического заполнения полости) капельно-натечные формы покрыты налетом черного вещества. На основе их спектрального анализа установлено, что черная корка представляет собой карбонатно-алюмосиликатную смесь – глинистый карбонат. Карбонатное вещество сложного состава: в нем присутствуют кальцит, долмит, сидерит и очень важный минерал – родохрозит, содержащий марганец. При этом, количество этого элемента довольно значительное (более 1 %). Заслуживает внимания наличие молибдена и крайне редкого элемента – талия, являющегося обычно спутником марганца [Кабадзе и др., 1986].

В некоторых залах пещеры широко представлены гравитационные глыбово-обвальные, а также водно-механические осадки. Площадь, занятая пластичными глинами, превышает 10 000 м<sup>2</sup>. Гранулометрическим изучением установлено, что они состоят из мелких частиц (диаметр более 0.01 мм; 55-60 % всей массы). Палинологический анализ глин показал, что она содержит пыльцу и споры древесных и травянистых растений, а также реликты хвойных (*Dacridium*, *Podocarpus*, *Gedrus*). Мощные отложения пластичных глин, образовавшихся в результате периодического затопления отдельных залов и постепенной седиментации, влекомых в них частиц, указывает на длительность и периодичность осадконакопления, начавшихся

очевидно в нижечетвертичное время, и продолжающееся до сегодняшнего дня<sup>1</sup>).

Задачей карстолого-гидрологических исследований на Цхалтубском массиве является оценка стока обводненных спелеообъектов, и выявление экстремальных значений расхода воды, с целью вскрытия местных карстово-гидрологических закономерностей. Из-за небольшого перепада высот водопоглощающих и выводных трещин гидродинамическая зона вертикальной циркуляции карстовых вод здесь сравнительно коротка. Поглощенные с поверхности воды тяготеют к единому уровню и поэтому глубинный карст изобилует горизонтальными галереями, подземными озерами и сифонными переходами. А обширная гидродинамическая зона горизонтальной циркуляции характеризуется небольшими скоростями и медленным водообменом в подземных емкостях.

Цхалтубскую пещерную систему дренирует подземная речка, берущая начало на Западном склоне Самгуральского кряжа. Дебит подземной речки в пещере неустойчив. В устьевом участке пещеры, перед погружением в Кумский сифон, он колеблется от 20-60 л/сек до 3000 л/сек (10 августа 1984 г.). По синхронным замерам расходов в Цхалтубской пещере и в истоках Куми (19 июня 1986 г.) выяснилось, что дебит реки Куми в 10 раз превосходит дебит пещерной речки. Это означает, что подавляющая часть стока источника Куми собирается с нижних ярусов пещерной системы и под напором изливается через очаги разгрузки. После ливневых дождей расход воды резко увеличивается.

---

<sup>1</sup> Анализы выполнены в палинологической лаборатории Института географии им. Вахушти Багратиони АН Грузии Н. Деканосидзе и М. Циклаури, по руководством Н. Мамацшвили.

Например, 19 июня 1986 г. после выпадения 118 мм осадков, из дебитирующей воронки Куми изливалось около 18 м<sup>3</sup>/сек воды. Задействовала и пещера Офичо. В 1986 г. за весь срок действия (105 минут) из пещеры Офичо вылилось около 30 000 м<sup>3</sup> воды. По данным 1987 года, полученных на специальной сети осадкомеров, выяснилось, что ливневые осадки, по крайней мере до 75 мм в сутки, если они не охватывают весь водосбор пещеры, и не накладываются на обильные предшествующие дожди, опасных подземных паводков не вызывают [Гигинеишвили, Джишкарини, 1989].

Температура воздуха в Цхалтубской пещере 13.5 – 14.2 °С. Особенностью климата здесь является быстрое снижение коэффициентов вариации температуры и влажности. Относительная влажность воздуха в пещере 93 – 96 %, а вблизи сифонных озер достигает 99 – 100 %. Суточная амплитуда колебаний температуры 0.2 – 0.3 °С. Незначительно колеблется также годовой ход температуры воздуха. Годовая амплитуда колебаний относительной влажности в пещере не превышает 2 – 3 %, а на поверхности составляет 35 – 40 %. Абсолютная углекислотообильность пещеры в течение года находится в пределах 0.13 – 0.34 м<sup>3</sup>/мин. Наличие взрывоопасных и высокотоксичных газов (CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>) в атмосфере пещеры не обнаружено. Содержание кислорода превышает минимально допустимую норму и в среднем составляет 20.4 % [Джишкарини и др., 1989].

Значительный интерес представляет исследование радиоактивных элементов вторичных образований [Буачидзе и др., 1989], проведенное в Лаборатории ядерных методов исследования СГИГ АН ГССР, в Рентгеновской лаборатории ГИН АН ГССР и в Изотопной лаборатории СГИС АН ГССР.

Табл 1.

Наименование образца	Содержание урана, $10^{-4}$ %	Содержание тория, $10^{-4}$ %
Вмещающая порода	0.6	0.0
Вторичная глина	44.1	17.0
Среднее для сталактитов	3.9	0.52
Современный сталактит	2.7	0.34
Среднее для сталагмитов	1.4	0.52
“Паразит” на современном сталагмите	4.2	2.2
Кальцитовая корка (совр.)	0.96	3.2
Кальцитовая корка (древн.)	0.90	1.1
Кальцитовая корка с глиной	100	11.4
Чаша с глиной	6.4	5.3
“Лунное молоко”	3.8	2.3

Анализ таблицы 1 показывает, что вмещающая порода (известняк) почти стерильна; наибольшие значения присущи вторичным (пещерным) глинам, а натечные образования занимают промежуточное положение. Можно отметить аномальную концентрацию урана в кальцитовой корке с глиной, а торий здесь занимает второе место после глины. Древние и современные корки проявляют большое сходство, лишь по тории последние богаче. Наиболее молодые образования подчиняются равнонаправленным закономерностям. Из них можно отметить обогащение

сталагмитов по торью и урану, и обеднение сталактитов по двум минералам. Эти последние (сталактиты) являются наиболее чувствительными индикаторами изменения содержания радиоактивных минералов в карстовых водах из-за специфики их образования. Учитывая стерильность карбонатных вмещающих пород и большую активность глинистого материала, который в значительных количествах присутствует во вторичных образованиях, главным источником радиоактивных минералов можно считать почву. Здесь происходит их накопление в виде органических комплексов, которые затем переходят в карстовую полость как в растворенном состоянии, так и в виде механических глинистых частиц.

Таким образом, Цхалтубская пещера представляется весьма интересной в смысле содержания радиоактивных изотопов в минералах. Выявляется тенденция утяжеления изотопного состава пещерных образований, возможно из-за “обеднения” растительного покрова (почв) в локальном регионе. На это указывает и уменьшение содержания радиоактивных минералов, резервуаром которых также должна быть почва [Буачидзе и др., 1989].

## 2. Образование и характеристики излучения изотопов радона и короткоживущих продуктов их распада

Изотопы радона  ${}_{86}\text{Rn}^{222}$  (радон),  ${}_{86}\text{Tn}^{220}$  (торон) и  ${}_{86}\text{An}^{219}$  (актинон) - представляют собой радиоактивные газообразные вещества – эманации. Каждый из изотопов радона образуется в соответствующем радиоактивном семействе: радон – в семействе урана, торон – в семействе тория, актинон – в семействе актиноурана.

Родоначальниками изотопов радона являются изотопы радия -  ${}_{88}\text{Ra}^{226}$ ,  ${}_{88}\text{ThX}^{224}$ ,  ${}_{88}\text{AcX}^{223}$ . Образование изотопов радона и последующих короткоживущих продуктов их распада представлено в табл. 2. Все изотопы радона являются альфа-излучателями, в то время как превращение короткоживущих продуктов их распада происходит с испусканием  $\alpha$  и  $\beta$  - излучения, а также  $\gamma$  – квантов.

Естественная радиоактивность воздуха, главным образом, определяется радоном, тороном и ближайшими продуктами их распада: RaA, RaB, RaC, ThA, ThB, ThC. Актинон, ввиду малого времени жизни, в воздухе практически не регистрируется и его наличием обычно пренебрегают [Рузер, 1968; Сердюкова, Капитанов, 1969]. Радон и торон – инертные газы, ближайшие продукты их распада – аэрозольные частицы. Продукты распада указанных эманаций и сами эманации распространены на Земном шаре повсеместно. В атмосфере содержание радона порядка  $10^{-13}$  Ки/л. В шахтах, подземных выработках, пещерах содержание этих эманаций может увеличиваться на несколько порядков. Высоки значения концентрации радона и торона в жилых помещениях, подвалах и других замкнутых объемах.

Попадание радиоактивных изотопов в органы дыхания является одним из самых опасных видов воздействия излучения на организм человека.

## Основные характеристики эманаций и их дочерних продуктов

Элемент	Символ	Период полураспада	Постоянная полураспада сек <sup>-1</sup>	Вид излучения
Радон	${}_{86}\text{Em}^{222}$	3.825 суток	$2.097 \cdot 10^{-6}$	$\alpha$
Радий А	${}_{84}\text{Po}^{218}$	3.05 мин	$3.788 \cdot 10^{-3}$	$\alpha$
Радий В	${}_{82}\text{Pb}^{214}$	26.8 мин	$4.310 \cdot 10^{-4}$	$\beta^-$ , $\gamma$
Радий С	${}_{83}\text{Bi}^{214}$	19.7 мин	$5.864 \cdot 10^{-4}$	$\beta^-$ , $\gamma$
Радий С'	${}_{84}\text{Po}^{214}$	$1.6 \cdot 10^{-4}$ сек	$4.23 \cdot 10^3$	$\alpha$
Радий D	${}_{82}\text{Pb}^{210}$	22 года	$9.98 \cdot 10^{-10}$	$\beta^-$ , $\gamma$
Радий E	${}_{83}\text{Bi}^{210}$	4.99 суток	$1.608 \cdot 10^{-6}$	$\beta^-$
Радий F	${}_{84}\text{Po}^{210}$	138.4 суток	$5.8 \cdot 10^{-8}$	$\alpha$
Торон	${}_{86}\text{Em}^{220}$	54.4 сек	$1.27 \cdot 10^{-2}$	$\alpha$
Торий А	${}_{84}\text{Po}^{216}$	0.158 сек	4.387	$\alpha$
Торий В	${}_{82}\text{Pb}^{212}$	10.67 час	$1.816 \cdot 10^{-5}$	$\beta^-$ , $\gamma$
Торий С	${}_{83}\text{Bi}^{212}$	1.09 час	$1.766 \cdot 10^{-4}$	$\alpha$ (33.7%) $\beta^-$ (66.3%)
Торий С'	${}_{84}\text{Po}^{212}$	$2.9 \cdot 10^{-7}$ сек	$2.3 \cdot 10^6$	$\alpha$
Торий С''	${}_{81}\text{Tl}^{208}$	3.1 мин	$3.73 \cdot 10^{-3}$	$\beta^-$ , $\gamma$
Актинон	${}_{86}\text{Em}^{219}$	3.92 сек	0.1767	$\alpha$
Актиний А	${}_{84}\text{Po}^{215}$	$1.83 \cdot 10^{-3}$ сек	$3.787 \cdot 10^2$	$\alpha$
Актиний В	${}_{82}\text{Pb}^{211}$	36.1 мин	$3.2 \cdot 10^{-4}$	$\beta^-$ , $\gamma$
Актиний С	${}_{83}\text{Bi}^{211}$	2.16 мин	$5.348 \cdot 10^{-3}$	$\alpha$
Актиний С''	${}_{81}\text{Tl}^{207}$	4.79 мин	$2.412 \cdot 10^{-3}$	$\beta^-$
Другие обозначения Радия А, В, С; Тория А, В, С – соответственно: Ra А, Ra В, Ra С; Th А, Th В, Th С. Радон - Rn, Торон - Tn.				

Объясняется это тем, что радиоактивные аэрозоли задерживаются в органах дыхания, а затем распадаются непосредственно в легких, либо выводятся в кровяное русло и оседают в различных органах.

Легкие представляют собой разветвленную сеть каналов различного диаметра, в которых вследствие их большой поверхности (около  $50 \text{ м}^2$ ) задерживается значительная часть аэрозолей. Отличие газов от аэрозолей состоит в том, что они слабо задерживаются в организме и время, в течение которого количество изотопа уменьшается в два раза, составляет несколько десятков минут [Рузер, 1968]. Разная степень задержки радиоактивных аэрозолей и газов обуславливает и различный биологический эффект.

Изотопы радона и короткоживущие продукты их распада (главным образом альфа-излучатели) ответственны за ионизацию воздуха. Радиоактивность  $10^{-13}$  Ки/л создает одну пару ионов в  $\text{см}^3$  воздуха в сек. В приземном слое атмосферы из 10 пар ионов в  $\text{см}^3$  воздуха за одну секунду 4 пары образуется за счет альфа-излучателей изотопов радона и ближайших продуктов их распада; 4 пары – за счет гамма-излучения почвы; 2 пары – за счет космического излучения. В горных выработках, рудниках, шахтах, пещерах, подвалах и других замкнутых помещениях основным источником образования ионов является ионизирующее излучение радиоактивных веществ, находящихся в воздухе, почве, стенах.

### **3. Образование и характеристика аэроионов**

Как было отмечено выше, одним из механизмов ионообразования в природе является взаимодействие ионизирующего излучения с молекулами и атомами воздуха. В результате первоначального акта ионизации возникает свободный электрон и мономолекулярный положительный ион. Свободный электрон практически мгновенно прилипает к ближайшей встречной

молекуле кислорода. В воздухе остаются два аэроиона – положительный и отрицательный, которые начинают сложный путь эволюции через цепь ионно-молекулярных реакций, протекающих особенно интенсивно в первые сотые доли секунды жизни аэроионов. Аэроионом называется любая заряженная частица, взвешенная в воздухе, если ее средняя скорость относительно воздуха в подавляющей мере определяется электрическими силами. Наименьшие аэроионы состоят из нескольких молекул, наибольшие – примерно из  $10^7$  молекул [Таммет, 1985].

При описании аэроионного режима интерес представляют с одной стороны свойства самих аэроионов, а с другой – количество аэроионов в воздухе. Единственной относительно просто измеряемой характеристикой аэроионов является его электрическая подвижность. Подвижность  $K$  определяется как отношение средней скорости дрейфа  $V$  аэроиона в электрическом поле к напряженности ( $E$ ) этого поля:

$$K = V/E$$

Единица подвижности в СИ –  $\text{м}^2/\text{в}\cdot\text{сек}$ . В практике распространена также традиционная внесистемная единица измерения  $\text{см}^2/\text{в}\cdot\text{сек}$ .

Подвижность аэроионов варьирует от  $0.0001 \text{ см}^2/\text{в}\cdot\text{сек}$  до  $2 \text{ см}^2/\text{в}\cdot\text{сек}$ . Аэроионы с подвижностью ниже  $0.0001 \text{ см}^2/\text{в}\cdot\text{сек}$  существуют в ничтожно малых количествах. Максимальные подвижности, уверенно обнаруженные при изучении природного воздуха, около  $2.2 \text{ см}^2/\text{в}\cdot\text{сек}$ .

Распределение ионов по подвижности называется спектром аэроионов. В спектре подвижностей отчетливо выделяются две группы: легкие аэроионы с подвижностью  $0.5 \leq K \leq 2 \text{ см}^2/\text{в}\cdot\text{сек}$ , тяжелые аэроионы с подвижностью  $0.0001 \leq K \leq 0.01 \text{ см}^2/\text{в}\cdot\text{сек}$ . Подавляющее большинство легких аэроионов в природном воздухе имеют подвижность  $1 \dots 2 \text{ см}^2/\text{в}\cdot\text{сек}$ , а подавляющее количество тяжелых аэроионов –  $0.0001 \dots 0.001 \text{ см}^2/\text{в}\cdot\text{сек}$ . Аэроионы с подвижностями  $0.001 \dots 0.5 \text{ см}^2/\text{в}\cdot\text{сек}$  называются промежуточными и они наблюдаются только в исключительных случаях при

особых условиях. Типичные для природного воздуха средние подвижности ионов  $K \approx 1.6 \text{ см}^2/\text{в}\cdot\text{сек}$  и  $K_+ \approx 1.3 \text{ см}^2/\text{в}\cdot\text{сек}$ .

Заряд легкого иона всегда равен одному элементарному заряду. Тяжелые ионы – заряженные аэрозольные частицы. Они образуются обычно при столкновении легкого аэроиона с нейтральной аэрозольной частицей; могут также образовываться в исключительных случаях в результате конденсации вещества на легком ионе. В природных условиях тяжелый аэроион несет обычно один, редко два элементарных заряда. Подвижность однократно заряженных сферических частиц зависит от диаметра частиц следующим образом [Таммет, 1985]:

Табл. 3

Зависимость подвижности однократно заряженных сферических частиц от их диаметра

Диаметр, $10^{-9}$ м	10	15	20	30	50	100	200
$K$ , $10^{-4}$ $\text{см}^2/\text{в}\cdot\text{сек}$	214	97	55	25	10	3	1

Частицы размером больше, чем указано в таблице 3, имеют в природном воздухе очень низкую концентрацию, а частицы меньших размеров не приобретают электрического заряда. Исключением является процесс конденсации вещества на легких аэроионах, что может привести к образованию весьма нестабильных промежуточных ионов.

Концентрация аэроионов в воздухе зависит от интенсивности ионообразования и от концентрации аэрозольных частиц в воздухе. Уравнение баланса в стационарном случае имеет вид:

$$q = \alpha n^2 + \beta n \quad (3.1)$$

где  $q$  – интенсивность ионообразования,  $\alpha \approx 1.5 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{сек}$  – коэффициент рекомбинации легких ионов,  $\beta$  – коэффициент,

характеризующий присоединение легких аэроионов к аэрозольным частицам. Для чистого воздуха ( $\beta = 0$ ) концентрация аэроионов определяется выражением:

$$N = n(+/-) = (q/\alpha)^{0.5} \quad (3.2)$$

В природном воздухе  $\beta = 0.01 - 0.1 \text{ сек}^{-1}$ . При взаимодействии альфа-излучения изотопов радона и продуктов их распада происходит биполярная ионизация, т.е. образуются отрицательные и положительные легкие ионы. Легкие аэроионы уничтожаются в результате рекомбинации (присоединения друг к другу), а также путем взаимодействия с аэрозольными частицами. Так как подвижность отрицательных аэроионов выше подвижности положительных, то в атмосферном воздухе обычно концентрация положительных аэроионов больше концентрации отрицательных на несколько десятков процентов. Это происходит из-за более активного осаждения отрицательных аэроионов на аэрозолях. Данное свойство аэроионов используется для оценки чистоты атмосферного воздуха. В загрязненном воздухе мало легких аэроионов. Существуют санитарно-гигиенические нормы допустимых уровней ионизации воздуха производственных и общественных помещений. Нормативные величины (табл. 4) следующие [Таммет, 1985]:

Табл. 4

Нормы допустимых уровней ионизации воздуха производственных и общественных помещений

Уровни	Число легких ионов в $1 \text{ см}^3$ воздуха	
	Положительные	Отрицательные
Минимально необходимый	400	600
Оптимальный	1500 - 3000	3000 - 5000
Максимально допустимый	50000	50000

#### 4. Лечебное действие аэроионов

Физиологическое влияние аэроионов уже долгое время рассматривается в практической медицинской и научной литературе. Многие считают применимым аэроионы для лечения высокого кровяного давления, невротозов, различных дыхательных заболеваний, бронхиальной астмы, некоторых типов аллергии и др. В результате ионотерапевтических экспериментов профессор Чижевский обнаружил возрастание рН в крови. Вместе с Дезауэром ему удалось уменьшить гипертонию при помощи действия значительного количества отрицательных ионов. Ендстрем привел факты облегчения ревматических болей, связанные с отрицательной (не пещерной) ионизацией. Дэвид и Монхарт собрали значительное количество фактов в области лечения ожогов ионотерапией. Крюгер произвел детальное исследование взаимосвязи между действиями ионов и вирусными инфекциями [Tardy, Higos, 1989].

Аскинас и Каспари начали свое исследование аэроионизации в 1901 году, доказав, что лечебные эффекты высокогорного климата в значительной степени зависят от ионизации. Они обнаружили, что в "Бад Гастине", "Сант Морице" и в "Арозе" высокая ионизация воздуха обладала положительным лечебным эффектом.

В 1987 году в Институте научной и экспериментальной медицины Военно-воздушных сил Венгрии была проведена серия экспериментов по изучению действия ионизации на состояние пилотов при взлете и посадке самолетов. Опыты проводились в специальных барокамерах, в которых имитировались как "взлет" и "посадки", так и нахождение на высоте нескольких тысяч метров над уровнем моря. Эксперименты показали, что значительное преобладание отрицательных аэроионов создавало благоприятное воздействие на организм пилотов в случае перегрузок.

Преобладание положительных аэроионов вызывало неблагоприятные реакции организма [Tardy, Hiros, 1989].

Основываясь на исследовании 59 пациентов Дэвид и др. выяснили, что отрицательные аэроионы вызывают улучшение общего состояния людей, работающих в неблагоприятных условиях. Авторы также указывают на возможность оказания помощи пациентам в течение критического послеоперационного периода без применения болеутоляющих и снотворных таблеток. Указанный метод уменьшения боли ионизацией более надежен и недорог.

Во время эпидемии гриппа в 1974 году Кажемом было выявлено, что вирусный катар верхних дыхательных трактов, а также лихорадка, лечились быстрее при регулярном применении отрицательных аэроионов. При лечении уменьшалось применение носовых капель. Для стерилизации воздуха в палатах, домах, офисах (особенно во время гриппа) подходит комнатный ионизатор [Tardy, Hiros, 1989].

Губительное влияние отрицательных аэроионов на бактерии и вирусы, а также на уменьшение их вредного воздействия на организм человека, обнаружено Минхом. Отрицательные аэроионы, в отличие от положительных, имеют благоприятное воздействия на очистительные механизмы дыхательных трактов, интенсифицируя активность бронх.

По наблюдениям Крюгера бедный ионами воздух в офисах и домах помимо неприятных ощущений, уменьшает трудоспособность и весьма часто повышает опасность дыхательных инфекций. Регулярная нехватка отрицательных аэроионов приводит к обессиливанию, росту интеллектуальных и физических травм.

Портнов указывает, что только одно ионное лечение вызывает определенные изменения, которые являются основными для возвращения организма человека в нормальное состояние. В случае пациентов с гипертонией это выражается в уменьшении артериального давления, а в

случае пациентов с астмой устраняется кризис и улучшается дыхание [Tardy, Héros, 1989].

В настоящее время имеется достаточное количество работ, подтверждающих пользу ионотерапии. В результате разрабатываются методы пещерного и поверхностного лечения различных болезней, не зависящих от погодных условий. Хотя и здесь возникает немало вопросов. Например, что важнее, абсолютное преобладание отрицательных аэроионов над положительными, или значение коэффициента униполярности, т.е. величины  $n_+/n_-$ . При работе некоторого типа ионизаторов в лечебницах или других помещениях могут образовываться значительные концентрации озона, которые выше пороговых значений вредно влияют на организм человека. Каково совместное влияние ионов и озона на организм человека? В зависимости от месторасположения ионизаторов в помещениях могут образовываться градиенты потенциала электрического поля. Каковы величины этих градиентов потенциала, как влияют они на состояние человека вместе с озоном и ионами?

Наиболее дешевым и удобным методом лечения является спелеотерапия. В результате естественной ионизации за счет радиоактивных веществ и так называемого "эффекта водопада" в пещерах создаются идеальные условия для организации лечебниц (в результате "эффекта водопада" в пещерах, в отличие от приземного слоя воздуха, преобладает отрицательная ионизация). Кроме этого, в пещерах стабильная температура и влажность воздуха, мало аэрозольных частиц, недвижимый воздух.

Микроклимат пещер мало зависит от внешних атмосферных условий. Однако и в этом случае необходима осторожность при организации лечебниц. В частности, необходим регулярный контроль за радиоактивными излучениями как воздуха, так и поверхности пещеры. Если

микроклимат пещер мало зависит от внешних условий, то изменение атмосферного давления может приводить в резкому изменению эманаций (т.е. выхода) радиоактивных газов из стен пещеры. В зависимости от глубины залегания пещеры на эманацию радиоактивных газов может влиять также интенсивный дождь, изменяющий уровень грунтовых вод. Как правило, в пещерах содержание озона крайне минимально. Не исключено, что для улучшения терапевтического эффекта при лечении ряда заболеваний необходимо оснастить пещеры озоногенераторами.

Помимо указанных факторов, при отборе больных для лечения в пещерах, необходимо, на наш взгляд, учитывать их психологическое состояние. Необычная обстановка в пещерах может как положительно, так и отрицательно влиять на их нервную систему. Для создания благоприятного психологического фона не исключено применение соответствующего светового и звукового (например, музыкального) фона.

Наконец, при организации спелеолечебниц, важное значение имеет учет климатических характеристик прилегающих к пещере на поверхности земли районов. Так как значительную часть времени больные проводят не в пещере, а на поверхности земли, их отбор для лечения должен проводиться с учетом климатических условий прилегающей к пещере местности (с учетом аэроионизации воздуха, содержания озона, аэрозолей, радиоактивности, гроз, электрического поля и др.) в различные сезоны года. Не исключена также организация комплексных ионотерапевтических лечебниц как в пещере, так и на поверхности земли, с соответствующим чередованием лечения.

Как будет показано ниже, Цхалтубская пещера обладает уникальными свойствами для организации в ней спелеолечебниц. При хорошей организации работ с соответствующим обеспечением научного и технического потенциала в указанном регионе Грузии можно будет создать лечебно-туристический комплекс международного значения, способный вносить в бюджет республики определенные валютные поступления.

## **5. Методика определения радиоактивности воздуха, содержания аэроионов и других микроклиматических характеристик пещеры**

### 5.1 Определение радиоактивности воздуха

Концентрация радона, торона и короткоживущих продуктов их распада в воздухе определялась путем отбора проб воздуха на фильтр с дальнейшей регистрацией альфа-излучения фильтра на сцинтилляционной установке. В качестве регистратора использовался прибор РВ-4.

Пробы воздуха фильтровались через фильтры типа АФА РМП в течение 5 минут со скоростью 16 л/мин. Через минуту после отбора пробы в течение 9 минут снималась кривая радиоактивного распада. Затем через четыре часа и через 84 часа также регистрировалась суммарная альфа-активность фильтра.

Концентрация ближайших продуктов распада радона определялась методом двух отсчетов [Сердюкова, Капитанов, 1969; Рузер, 1968]. Концентрация радона определялась по кривой распада в предположении наличия радиоактивного равновесия между радоном и радием А.

Концентрация торона определялась по кривой распада в предположении, что он находится в состоянии радиоактивного равновесия с торием В по активности фильтра через четыре часа после пробоотбора. При этом из активности фильтра через четыре часа вычиталась активность долгоживущих продуктов распада, зарегистрированных через 84 часа после пробоотбора [Сердюкова, Капитанов, 1969].

## 5.2 Определение концентрации легких ионов в воздухе

Концентрация легких ионов в воздухе пещеры определялась с помощью портативного счетчика аэроионов типа Гердиена. Прибор действует на принципе разрядки заряженного конденсатора. Данный регистратор измеряет содержание аэроионов в воздухе с подвижностью более  $0.8 \text{ см}^2/\text{в-сек}$ . Таким образом, прибор позволяет практически измерить легкие ионы во всем диапазоне их подвижности.

## 5.3 Определение содержания аэрозолей в воздухе

Концентрация и спектр размеров аэрозольных частиц в воздухе определялись с помощью аэрозольных частиц ГТА-03-002 в 1992 году и с помощью мембранных фильтров с последующим счетом их размеров и концентрации под микроскопом в проходящем свете после проявления фильтров [Рузер, 1968] в 1993 году.

Счетчик ГТА-03-002 позволял регистрировать частицы в шести каналах по следующим размерам: 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.8; 1.0 мкм по диаметру. Диапазон измерения счетной концентрации аэрозольных частиц от 0 до  $3.5 \cdot 10^5$  частицы в литре. Отметим, что анализируемый воздух предварительно нагревался в заборном устройстве с целью его осушения, так как наличие обводненных аэрозолей в среде с повышенной влажностью искажает реальный спектр размеров аэрозолей.

Через мембранные фильтры прокачивалось около 100 литров воздуха. Одновременно также определялась и весовая концентрация аэрозолей путем взвешивания фильтра типа АФА ВП до и после прокачки через него воздуха.

## 5.4 Определение других микроклиматических характеристик пещеры

Кроме вышеуказанных параметров проводились измерения концентрации озона с помощью кулонометрического озонометра ОМГ-200, температуры, влажности и скорости воздуха. Измерялась напряженность электрического поля с использованием портативного измерителя типа ИЭП.

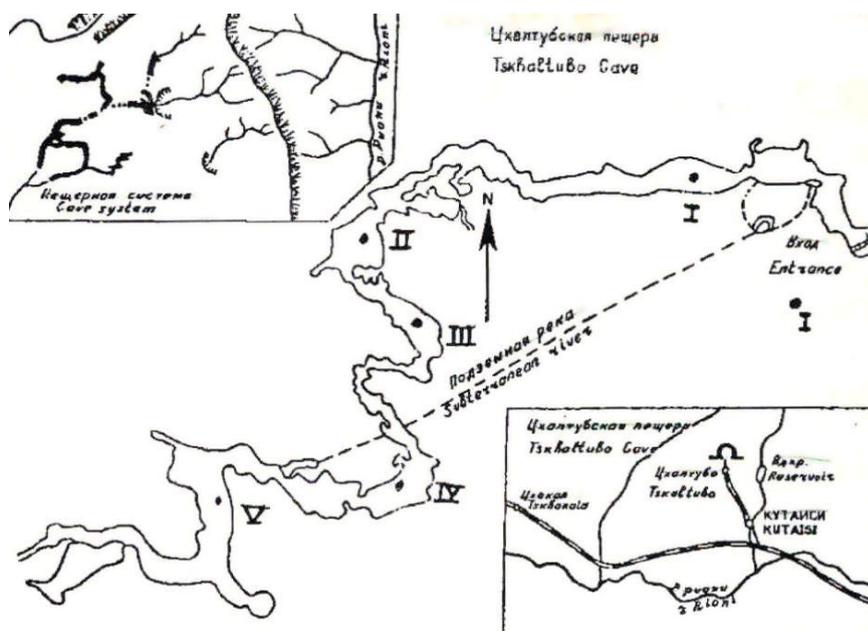


Рис. 1

Измерения радиоактивности и аэрозолей производились в трех пунктах, а измерения содержания легких ионов – в пяти пунктах пещеры. Пункты измерения отмечены на рис. 1 римскими цифрами. Для сравнения измерения вышеуказанных параметров воздуха проводились также во дворе вне пещеры.

## 6. Естественная радиоактивность воздуха, микроклиматические характеристики и аэроионизационное состояние Цхалтубской пещеры

### 6.1 Естественная радиоактивность Цхалтубской пещеры

2-4 сентября 1992 года из-за “зашкаливания” прибора радиоактивность воздуха в пещере измерить не удалось. Она оказалась выше  $4 \cdot 10^{-11}$  Ки/л для радона. Содержание торона составляло около  $0.004 \cdot 10^{-11}$  Ки/л. Во дворе пещеры в эти дни концентрация радона в среднем составляла  $0.0033 \cdot 10^{-11}$  Ки/л, т.е. более, чем на три порядка ниже.

Результаты измерения естественной радиоактивности 3 октября 1992 года и 8-9 июля 1993 года представлены в табл. 5.

Табл. 5

Дата	Место наблюдения	Радон	Радий А	Радий В	Радий С	Торон
		$10^{-11}$ Ки/л				$10^{-14}$ Ки/л
2.10. 1992 г.	I пункт	3.1	2.7	3.7	3.7	4.6
	II пункт	2.4	2.2	2.4	2.4	3.7
	III пункт	1.5	1.8	1.5	1.4	3.3
8-9. 07. 1993 г. Среднее за два дня	I пункт	4.4	4.2	5.2	5.3	95
	II пункт	10.5	10.2	12.9	13.7	130
	III пункт	5.1	4.5	6.1	6.3	70
	Двор пещеры	0.018				

Из табл. 5 следует, что в дни наблюдений в залах отмечалась довольно высокая радиоактивность. Между радоном и ближайшими продуктами его распада наблюдается состояние, близкое к радиоактивному равновесию. Общая радиоактивность радона и

короткоживущих продуктов его распада достигала  $61 \cdot 10^{-11}$  Ки/л (в том числе суммарная альфа-активность составляла  $34.4 \cdot 10^{-11}$  Ки/л). Концентрация торона на один-два порядка ниже концентрации радона, что, по всей видимости, вызвано меньшим содержанием тория по сравнению с ураном в почве пещеры (см. табл. 1).

Наблюдаются значительные пространственно-временные колебания содержания в воздухе пещеры радона и торона. Так, в отдельных залах пещеры концентрация радона разная. Различие в 2-2.5 раза. Содержание радона и продуктов его распада в пещере 8-9 июля 1993 года в несколько раз выше, чем 2 октября 1992 года. Содержание же торона 8-9 июля 1993 года в несколько десятков раз было выше, чем 2 октября 1992 года. Подобные колебания концентрации радионуклидов в воздухе пещеры могут быть вызваны различными причинами: изменением атмосферного давления, поступлением внешнего воздуха в пещеру, интенсивными атмосферными осадками, изменяющими уровень грунтовых вод, подвижками земной коры и другими факторами, влияющими на эксхалацию радона и торона из стен пещеры. Тем не менее указанный факт указывает на необходимость регулярного контроля радиоактивности воздуха в пещере как с целью выявления на нее внешних условий, так и с целью организации санитарно-гигиенических мероприятий для обслуживающего персонала.

Значительные колебания величины концентрации радона наблюдались нами также в Новоафонской пещере при измерениях в 1977-1978 гг. Как в Цхалтубской, так и в Новоафонской пещере содержание радона в различных залах разное (табл. 6). Эти колебания составляют от  $0.18 \cdot 10^{-11}$  Ки/л до  $8.23 \cdot 10^{-11}$  Ки/л. Вне пещеры за этот период концентрация радона изменялась от  $0.0024 \cdot 10^{-11}$  Ки/л до  $0.029 \cdot 10^{-11}$  Ки/л. Наибольшая радиоактивность воздуха отмечалась в зале “Тбилиси” около водопада.

Табл. 6

Содержание радона в Новоафонской пещере (по измерениям в мае, июле, августе, декабре 1977 года и в августе 1978 года)

Место наблюдения (залы)	Содержание радона, $10^{-11}$ Ки/л			Число измерений
	Минимум	Максимум	Среднее	
Ворота Арсена	0.18	2.15	1.0	16
Белая гора	1.48	2.74	1.96	20
Конец эстакады	0.24	2.18	1.47	7
Москва	1.51	2.82	1.94	16
Иверия	1.03	3.06	2.1	22
Тбилиси	0.85	3.47	2.25	24
Тбилиси, около водопада	0.72	8.23	3.47	18
Веранда	0.0024	0.029	0.013	13

На рис. 2 представлена кривая плотности распределения концентрации радона в Новоафонской пещере. Из этого рисунка следует,

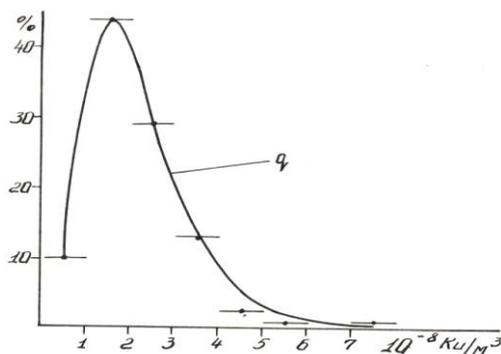


Рис. 2. Плотность распределения концентрации радона в Новоафонской пещере

что наиболее повторяемая концентрация радона в этой пещере составляет примерно  $2 \cdot 10^{-11}$  Ки/л (более 40% случаев измерений). При сопоставлении данных, полученных нами для Цхалтубской и Новофонской пещер, отмечается повышенное содержание радионуклидов в воздухе первой пещеры по сравнению со второй. Возможно это вызвано тем, что Цхалтубская пещера пока не эксплуатируется и обмена воздуха пещеры с атмосферным воздухом не происходит.

Данные наших измерений неплохо согласуются с аналогичными измерениями, проведенными в карстовой пещере “Белая пещера” [Ушверидзе и др., 1989]. В соответствии с измерениями указанных авторов в “Белой пещере” радиоактивность воздуха находится в пределах  $2.1 \cdot 10^{-11}$  Ки/л –  $5.7 \cdot 10^{-11}$  Ки/л. На значительные колебания радиоактивности в пещерах “Сатаплия” и “Белая гора” указывается также в работе [Данелия, 1975]. Таким образом, значительные колебания содержания естественной радиоактивности воздуха пещеры не является особенностью Цхалтубской пещеры, а видимо, присущи всем пещерам. В причинах этих колебаний, на наш взгляд, следует разобраться.

## 6.2 Микроклиматические характеристики Цхалтубской пещеры

Результаты измерения температуры и влажности воздуха в Цхалтубской пещере представлены в табл. 7.

Как видно из табл. 7 колебания температуры и относительной влажности воздуха в пещере не очень значительны. Отмечается тенденция понижения температуры воздуха и повышение относительной влажности по мере продвижения вглубь пещеры. Данные, приведенные в

табл. 7, находятся в удовлетворительном соответствии с аналогичными исследованиями, приведенными в работе [Джишкариани и др., 1989].

Табл. 7

Дата	Место наблюдения	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %
2-4.09. 1992 г. Среднее за три дня	I пункт	14.9	89
	Между I и II пункт.	14.5	88
	II пункт	14.3	96
	III пункт	14.2	90
	IV пункт	13.2	95
	V пункт	13.5	96
	Двор пещеры	27.0	64
8. 07. 1993 г.	I пункт	14.2	67
	Между I и II пункт.	14.0	77
	II пункт	14.0	79
	III пункт	14.0	88
	IV пункт	13.1	90
	V пункт	13.1	90
	Двор пещеры	26.0	57

Ветер практически отсутствовал во всех точках наблюдения по всем направлениям. Об отсутствии некоторого существенного обмена между воздухом пещеры и атмосферным воздухом свидетельствуют и крайне крайне малые концентрации озона в залах Цхалтубской пещеры, которые в дни измерений не превышали  $2 \text{ мкг/м}^3$ , в то время как в приземном слое воздуха содержание озона составляло  $30-40 \text{ мкг/м}^3$  8-9 июля 1993 года и  $12-16 \text{ мкг/м}^3$  2-4 сентября 1992 года. В Новоафонской пещере колебания концентрации озона составляли от  $0.7$  до  $9.2 \text{ мкг/м}^3$ , что свидетельствует о большей степени проникновения в эту пещеры наружного воздуха.

Напряженность электрического поля находилась также на уровне пределов возможности измерения прибора и во всех пунктах пещеры была

меньше 2000 в/м. Такие напряженности электрического поля не опасны для здоровья человека.

Данные о содержании аэрозолей различных размеров в Цхалтубской пещере приведены в табл. 8.

Следует отметить, что данные, полученные в 1992 году с помощью счетчика аэрозолей нельзя считать вполне достоверными из-за высокой влажности в пещере. Более достоверны данные 1993 года. В целом, как видно из табл. 8, воздух в пещере гораздо чище наружного воздуха. По данным измерений 1992 года весовая концентрация аэрозолей в I и II пунктах наблюдения соответственно составляла 0.3 и 0.13 мг/м<sup>3</sup>. Отметим однако, что данные аэрозольных измерений требуют уточнения [Киркитадзе и др., 1993].

Табл. 8

Дата	Место наблюдения	Содержание аэрозолей различного размера, %. Диаметр, мкм.								Общее число частиц, л <sup>-1</sup>
		0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	2.0	3-5	
2.09. 1992 г.	I пункт	81	15	3	1					1100
	II пункт	85	12	2	1					440
	III пункт	97	3							36
	Двор пещеры	73	20	5	1.5	0.5				37000
8.07. 1993 г.	I пункт						14		86	5600
	II пункт							33	67	2400
	Двор пещеры						24	72	4	20000

### 6.3 Аэроионизационное состояние Цхалтубской пещеры

Результаты исследования аэроионного состава воздуха в Цхалтубской пещере приведены в табл. 9. Как видно из этой таблицы, в залах пещеры

концентрация аэроионов в 10-20 раз превышает их содержание в воздухе вне пещеры.

Табл. 9

Дата	Место наблюдения	$n_+$ см <sup>-3</sup>	$n_-$ см <sup>-3</sup>	$n_+ / n_-$	Теор. знач. $N=n(\pm)$ теор. см <sup>-3</sup>
2-4.09. 1992 г. Среднее за три дня	I пункт	6800	8000	0.85	
	Между I и II пункт.	9750	10250	0.95	
	II пункт	11200	12900	0.87	28000
	III пункт	12500	13100	0.95	
	IV пункт	12900	13400	0.96	
	V пункт	13100	13600	0.96	
	Двор пещеры	850	680	1.25	
8-9. 07. 1993 г. Среднее за два дня	I пункт	9600	10500	0.91	30000
	Между I и II пункт.	11900	12900	0.92	
	II пункт	13000	13800	0.94	46000
	III пункт	14200	15200	0.93	32000
	IV пункт	15900	16800	0.95	
	V пункт	17300	18900	0.92	
	Двор пещеры	900	700	1.29	

Важно также отметить, что в отличие от атмосферы в пещере содержание легких отрицательных аэроионов больше, чем положительных (“эффект водопада”). Этот факт весьма важен, так как наиболее благоприятное влияние на организм человека оказывают отрицательные аэроионы. В различных залах пещеры наблюдается различное содержание аэроионов. Сопоставление табл. 5 и 9 показывает, что в различных залах Цхалтубской пещеры четкой взаимосвязи между содержанием естественной радиоактивности в воздухе пещеры и концентрации аэроионов нет. Хотя при

равных физических условиях должно быть наоборот. Повышение радиоактивности воздуха должно увеличивать концентрацию аэроионов, тогда как, например, в пункте III при меньшей радиоактивности воздуха больше ионов, чем в пункте II. Указанный факт можно объяснить следующими причинами: 1 – различным размером залов и различной площадью поверхности их, что приводит к неодинаковой степени осаждения на стенки залов; 2 – различным содержанием влажности и аэрозолей в залах; в местах с высокой влажностью и содержанием аэрозолей число аэроионов с подвижностью легких уменьшается за счет увеличения средних и тяжелых; 3- дополнительный источник ионизации от стен залов в виде гамма-излучения радиоактивных элементов, содержащихся в них.

Как было отмечено в разделе 3 (формула 3.2) по данным значений активности продуктов распада изотопов радона можно оценить максимально образуемое за их счет количество легких аэроионов (без учета ионизации от стен пещеры). По отношению  $n(\pm)/N$  можно судить о чистоте воздуха в пещере, а также о вкладе в ионизацию изотопов радона.

Так, например, отношение  $n(\pm)/N$  для II и III пункта пещеры 8-9 июля 1993 года составляет соответственно 0.29 и 0.46. Таким образом, во II пункте измерения вклад в ионизацию воздуха изотопов радона значительно ниже, чем в пункте III, хотя концентрация радиоактивных газов во II пункте в два раза выше, чем в III-ем.

Значительные колебания концентрации легких ионов наблюдались нами также в Новоафонской пещере. В табл. 10 представлены данные о содержании легких аэроионов в Новоафонской пещере в мае, июле, августе, декабре 1977 года и августе 1978 года.

На рис. 3 представлена плотность распределения концентрации легких положительных и отрицательных аэроионов по всем данным измерений в Новоафонской пещере. На рис. 4 дана плотность распределения коэффициента униполярности (отношения  $n_+/n_-$ ) для Новоафонской пещеры.

Табл. 10

Место наблюдения (залы)	1.Мин 2.Макс 3.Сред. 4.К-во набл.	$n_+$ $\text{см}^{-3}$	$n_-$ $\text{см}^{-3}$	$n_+ / n_-$	$N=n(\pm)$ теор. $\text{см}^{-3}$
Ворота Арсена	1	1900	2800	0.62	6000
	2	5000	5700	1.05	21000
	3	3450	4100	0.84	13000
	4	27	27	27	16
Белая гора	1	3200	3800	0.56	17000
	2	6700	7000	1.1	23000
	3	4900	5450	0.90	20000
	4	28	28	28	20
Конец эстакады	1	4300	4700	0.91	7000
	2	6700	6600	1.14	21000
	3	5700	5700	1.00	17000
	4	7	7	7	7
Москва	1	3900	4000	0.72	17000
	2	8000	8500	1.20	24000
	3	5200	5900	0.88	20000
	4	23	23	23	16
Иверия	1	3400	4200	0.63	14000
	2	7600	8700	1.07	25000
	3	5300	5900	0.90	20000
	4	31	31	31	22
Тбилиси	1	2400	2500	0.70	13000
	2	8200	8900	1.20	26000
	3	6000	6600	0.91	21000
	4	34	34	34	24
Тбилиси, около водопада	1	2000	2700	0.70	12000
	2	10100	9400	1.10	40000
	3	6900	7200	0.90	26000
	4	29	29	29	18
Веранда	1	100	100	0.70	6900
	2	2600	2600	1.30	2400
	3	890	860	1.03	1550
	4	31	31	31	13

Наконец, на рис. 5 изображена зависимость содержания легких аэроионов в воздухе от концентрации радона и продуктов его распада в залах Новоафонской пещеры.

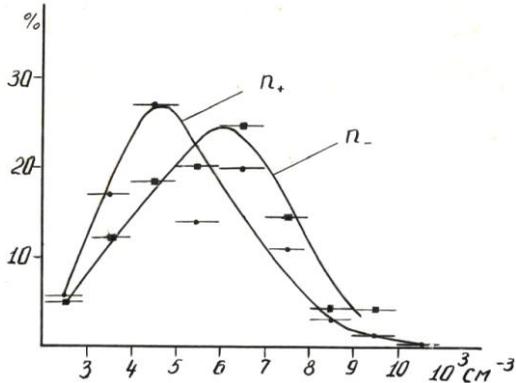


Рис. 3. Плотность распределения концентрации легких положительных и отрицательных аэроионов ионов (Новоафонская пещера)

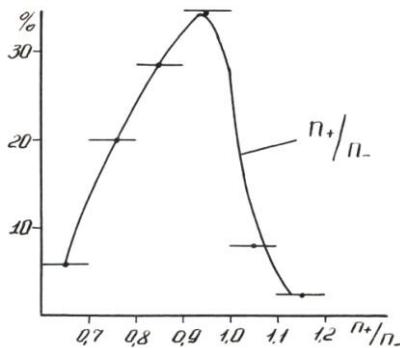


Рис. 4. Плотность распределения коэффициента униполярности (Новоафонская пещера)

Сопоставление данных, приведенных табл. 9 с табл. 10 и рис. 3 и 4 показывает, что в Цхалтубской пещере уровень ионизации выше, чем в Новоафонской. Так, в Новоафонской пещере диапазон изменения суммарной концентрации легких аэроионов ( $n_+ + n_-$ ) составляет 4700 - 19200  $\text{cm}^{-3}$ . В Цхалтубской пещере по данным значительно меньших измерений диапазон изменения суммарной концентрации аэроионов 14800 - 36200  $\text{cm}^{-3}$ . В Новоафонской пещере наиболее часто повторяемая концентрация

положительных аэроионов – около  $4000 \text{ см}^{-3}$ , а отрицательных – около  $7000 \text{ см}^{-3}$ , что меньше минимальных значений  $n_+$  и  $n_-$  в Цхалтубской пещере. В Цхалтубской пещере практически во всех залах действует “эффект водопада”, тогда как в Новофонской пещере в 8-10% случаев значение коэффициента униполярности больше единицы (см. рис. 4). Указанные различия, по всей видимости, можно объяснить тем, что в Новофонской пещере уровень радиоактивности воздуха меньше, чем в Цхалтубской, кроме того, в Цхалтубской пещере обмен пещерного воздуха с атмосферным незначителен, так как пещера пока не эксплуатируется.

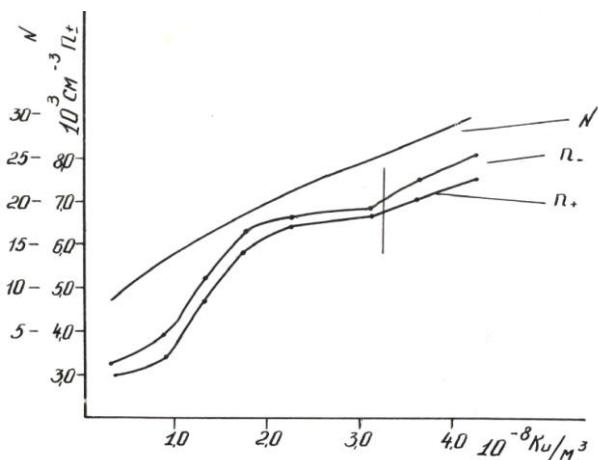


Рис. 5. Зависимость содержания легких аэроионов от концентрации радона (Новофонская пещера)

Главным источником ионообразования в пещерах является радон и продукты его распада, что показано на рис. 5. На этом же рисунке приведена зависимость максимально образуемого количества легких аэроионов от концентрации радона, радия А и радия С' при условии наличия радиоактивного равновесия между ними. Как видно из рис. 5 ход

теоретической и экспериментальных кривых схож друг с другом, с той разницей, что значения примерно в 2 – 5 раз выше значений  $n_+$  и  $n_-$ . Сходные результаты для отношения  $n(\pm)/N$  получены и для Цхалтубской пещеры (табл. 9).

В “Белой пещере” [Ушверидзе и др., 1989] количество легких отрицательных аэроионов составляло  $3645-5832 \text{ см}^{-3}$ , а легких положительных –  $5248-7200 \text{ см}^{-3}$  при радиоактивности воздуха  $(2.1-5.7) \cdot 10^{-11}$  Ки/л. Эти данные в целом неплохо совпадают с нашими как для Новоафонской, так и Цхалтубской пещер. К сожалению авторы не указывают о какой радиоактивности идет речь: радоне, суммарной альфа, суммарной бета, или др.? Вызывает также сомнение превышение числа положительных аэроионов над отрицательными. В связи с этим надо отметить, что при измерении радиоактивности воздуха в пещерах необходимо учитывать все изотопы радона и продуктов его распада и все расчеты проводить для каждого из них в отдельности. В крайнем случае можно предположить наличие состояния радиоактивного равновесия между радоном, тороном и продуктами их распада и рассчитывать концентрацию только радона или торона. Однако это всегда необходимо отмечать и не ограничиваться термином “радиоактивность воздуха”. Что касается измерения аэроионов, то здесь всегда необходимо указывать о какой подвижности идет речь, иначе полученные данные будут несопоставимы друг с другом. В частности, измерения в Новоафонской и Цхалтубской пещерах были проведены одними и теми же приборами по сходной методике как для естественной радиоактивности, так и для легких аэроионов.

Из зарубежных исследователей следует выделить работы [Tardy, 1988; Tardy, Hirs, 1989]. В них представлены результаты исследований аэроионизационного состояния в пещерах Венгрии. В период с сентября 1985 года по март 1988 года было проведено около 450 измерений в пещерах и около 100 измерений на поверхности земли. Во время указанных

исследований было зафиксировано влияние Чернобыльской катастрофы на ионизацию воздуха. Так, на поверхности земли в апреле-мае 1986 года максимальное содержание отрицательных аэроионов доходило до  $1400000 \text{ см}^{-3}$ , а положительных до  $10000000 \text{ см}^{-3}$ ; в пещере п. максимальное составляло  $908000 \text{ см}^{-3}$ , а п. максимальное -  $680000 \text{ см}^{-3}$ . Исключая период Чернобыльской катастрофы автором получены следующие результаты:

Пещера, $\text{см}^{-3}$		Поверхность земли, $\text{см}^{-3}$	
п. макс. 23500;	п. сред. 10901	п. макс. 6600;	п. сред. 1170
п. мин. 1790		п. мин. 250	
п. макс. 31750	п. сред. 13894	п. макс. 1400;	п. сред. 1090
п. мин. 1240		п. мин. 200	

Значение коэффициента униполярности  $< 1$  составляло в пещере 89% случаев измерений на поверхности земли – 43 %. Таким образом, в пещере часто наблюдался “эффект водопада”. Как видно, приведенные данных хорошо совпадают с нашими исследованиями в Новоафонской и Цхалтубской пещерах. Близкие к указанным получены результаты и в работе Спурного [Spurny, 1988].

Таким образом, в характеристиках аэроионизационного состояния и естественной радиоактивности воздуха пещер много общего. Это преобладание отрицательной ионизации, гораздо большее содержание аэроионов в воздухе пещер по сравнению с поверхностью земли, высокий уровень радиоактивности воздуха, значительные пространственно-временные колебания концентрации легких аэроионов, радона и продуктов его распада. Все это указывает на необходимость регулярного контроля (по крайней мере проведение декадных ежеквартальных измерений вышеуказанных параметров, особенно во время эксплуатации пещеры).

В дальнейшем целесообразно провести исследования пещеры с целью изучения гамма-фона ее поверхности, а также измерения радиоактивности

воды и ее химического состава. Для выполнения указанных выше работ на более высоком научном уровне необходимо наладить контакты с зарубежными учеными, работающими в данной области: с Будапештским институтом спелеологии (Венгрия), с Пражским Институтом радиационной дозиметрии АН Чехии и др.

В заключение отметим необходимость создания Государственной программы по исследованию и контролю микроклиматических характеристик Цхалтубской пещеры и окружающей местности и созданию на базе пещеры экскурсионно-туристического и лечебного комплекса.

### **Заключение**

Приведены результаты исследования аэроионизационного состояния, естественной радиоактивности воздуха и некоторых микроклиматических характеристик (температура, влажность воздуха, скорость ветра, содержание аэрозолей и озона, напряженность электрического поля) Цхалтубской пещеры. Естественная радиоактивность воздуха в основном обусловлена радоном и продуктами его распада короткого периода жизни. Содержание торона незначительно. Отмечается высокое содержание легких аэроионов в Цхалтубской пещере, в отличие от Новоафонской пещеры, Сатаплия, Тетри Мгвиме (Белая пещера). Наблюдается, как и в Новоафонской пещере, большое количество отрицательных аэроионов по сравнению с положительными. Радиоактивность воздуха довольно высокая, что необходимо учитывать при разработке санитарно-гигиенических мероприятий для обслуживающего персонала.

Как для Цхалтубской, так и для Новоафонской пещеры, характерны значительные колебания содержания аэроионов и естественной радиоактивности воздуха, что указывает на необходимость регулярного контроля указанных параметров. Содержание аэрозолей в воздухе также

подвержено значительным колебаниям. В целом воздух пещеры (для аэрозолей размером от 0.3 до 5 мкм по диаметру) значительно чище атмосферного. По возможности желательно также установить контроль и над содержанием аэрозолей в пещере.

Другие микроклиматические характеристики (температура, влажность воздуха, скорость ветра, содержание озона) более стабильны в пространстве и во времени. Температура и влажность воздуха в различных залах пещеры мало отличаются друг от друга. Ветра практически нет. Содержание озона на уровне чувствительности прибора, что свидетельствует о крайне незначительном поступлении атмосферного воздуха в пещеру. Напряженность электрического поля незначительна.

Цхалтубская пещера, на наш взгляд, может быть использована как для экскурсионно-туристических целей, так и для спелеотерапии. Разумно найти возможность совмещения одного с другим. При организации в пещере спелеолечебницы необходимо изучение микроклиматических характеристик прилегающей к пещере местности на поверхности земли, так как значительную часть времени больные проводят не в пещере, а на поверхности земли. Отбор спелеолечебниц должен проводиться с учетом климатических условий прилегающей к пещере местности (с учетом ионизации воздуха, содержания озона, аэрозолей, радиоактивности, гроз, электрического поля и др.) в различные сезоны года. Не исключена также возможность организации комплексных ионотерапевтических лечебниц как в пещере, так и на поверхности земли, с соответствующим чередованием лечения. Следует, на наш взгляд, изучить эффективность лечения различных заболеваний в результате совместного действия легких аэроионов и озона, обладающим бактерицидными свойствами. В случае положительных результатов спелеолечебницы надо оснастить озоногенераторами. Наконец, для создания больным благоприятной психологической обстановки в пещере

можно рекомендовать применение соответствующего светового и звукового (например, музыкального) фона.

При эксплуатации пещеры необходим строгий контроль за ее радиоактивными, аэроионными и микроклиматическими характеристиками с целью сохранения природных свойств пещеры. Спелеолечебницы можно оснастить ионогенераторами для регулирования баланса между отрицательными и положительными ионами. В дополнение к вышеуказанному отметим, что в дальнейшем целесообразно изучение гамма-радиационного фона Цхалтубской пещеры, радиоактивности ее вод, состава микроэлементов в воде и воздухе.

Необходимо, на наш взгляд, в ближайшее время наметить Государственную программу по исследованию и контролю микроклиматических характеристик, естественной радиоактивности и аэроионизационного состояния воздуха Цхалтубской пещеры и окружающей местности и созданию на базе пещеры экскурсионно-туристического и лечебного комплекса. В программе следует учесть контакты с зарубежными специалистами, работающими в данном направлении.

Цхалтубская пещера обладает уникальными свойствами и при соответствующей организации работ с необходимым научным и техническим обеспечением в этом регионе Грузии в кратчайшие сроки можно будет создать лечебно-туристический комплекс международного значения.

### Список литературы

- Амиранашвили А.Г., Балавадзе А.Ш., Нодия А.Г., Никифоров Г.В., Таташидзе З.К., Джишкариани Д.М. – Ионизация воздуха и природная радиоактивность в Новоафонской и Цхалтубской пещерах. Научная сессия, посвященная 75-летию основания ТГУ и 60-летию Института географии им. Вахушти Багратиони. Тезисы доклада, 20-22 октября 1993 г., Тбилиси, “Мецниереба”, 1993, с. 84-85 (на грузинском языке).
- Балабуев А.Г., Нодия А.Г., Амиранашвили А.Г., Балавадзе А.Ш., Тинтилозов З.К. – Ионизационное состояние и естественная радиоактивность воздуха в Ново-Афонской пещере. Материалы Докладов 2-го Респ. семинара по некоторым вопросам физики земли, атмосферы, ионосферы и космических лучей. Тбилиси, 28-30 декабря 1977, с. 50.
- Буачидзе Г.И., Джишкариани Д.М., Инцкирвели Н.Э., Кикнадзе Е.Э. – Вторичные образования новой Цхалтубской пещеры. Сб. Проблемы карста горных стран. Тбилиси, “Мецниереба”, 1989.
- Гвоздецкий Н.А. – Проблемы изучения карста и практика. М., “Мысль”, 1972.
- Гигинейшвили Г.Н. – Гидрометеорологические предпосылки безопасности эксплуатации Цхалтубской карстовой пещеры. Тезисы докладов итоговой научной сессии ИГАН ГССР, Тбилиси, “Мецниереба”, 1987.
- Гигинейшвили Г.Н., Джишкариани Д.М. – Интенсивные атмосферные осадки и формирование высоких паводков в Цхалтубской пещерной системе. Сб. Докладов X международного спелеологического конгресса, Будапешт, том II, 1989.
- Горбунова К.А., Максимович Н.Г. – История использования пещер на территории СССР. Сб. Проблемы карста горных стран. Тбилиси, “Мецниереба”, 1989.

- Какабадзе М.В., Беридзе М.А., Цирекидзе Л.Р., Кавелашвили А.И., Хуцишвили О.И., Инцкирвели Н.Э., Букия А.Г. – Изучение геологических условий Цхалтубской карстовой пещеры и прилегающей территории. Фонды геологического института им. А.И. Джanelидзе АН ГССР, Тбилиси, 1986.
- Кипиани Ш.Я. – Карст Грузии. I, Тбилиси, 1974.
- Киркитадзе, Харчилава Д.Ф., Хиджакадзе Р.Л., Джишкариани Д.М. – Предварительные результаты исследования некоторых микроклиматических характеристик и аэрозольного состава в Цхалтубской пещере. Научная сессия, посвященная 75-летию основания ТГУ и 60-летию Института географии им. Вахушти Багратиони. Тезисы доклада, 20-22 октября 1993 г., Тбилиси, “Мецниереба”, 1993, с. 84-85 (на грузинском языке).
- Маруашвили Л.И. – Основы карстования, Тбилиси, 1973.
- Рузер Л.С. – Радиоактивные аэрозоли. М., 1968.
- Сердюкова А.С., Капитанов Ю.Т. – Изотопы радона и короткоживущие продукты их распада в природе, М., 1969.
- Таммет Х.Ф. – Счетчики аэроионов. Хаапсалу, 1985.
- Тинтилозов З.К. – Карстовые пещеры Грузии. Тбилиси, “Мецниереба”, 1976.
- Хаташвили Н.М. – К вопросу использования микроклимата карстовой пещеры в медицине. Сб. Проблемы карста горных стран. Тбилиси, “Мецниереба”, 1989.
- Ушверидзе Г.А., Тархнишвили И.Д., Чиквашвили Г.А. – Спелеотерапия заболеваний органов дыхания. Сб. Проблемы карста горных стран. Тбилиси, “Мецниереба”, 1989.
- Spurny Z. – Small Ions in the Cave Atmosphere. Int. Symp. on Physical, Chemical and Hydrological Research of Karst, Communications, Kosice, Czechoslovakia, May, 10-15, 1988.

- Tardy J. – Results and Methodological Problems of Complex Serial Measurements in the Cave of Szemlo-Hegy in Budapest. Int. Symp. on Physical, Chemical and Hydrological Research of Karst, Communications, Kosice, Czechoslovakia, May, 10-15, 1988.
- Tardy J., Hiros L. – Speleotherapy – Ionotherapy. Ion Concentration Measurements Conducted in Caves of Hungary. Speleoklima and Therapie 1, Budapest, 1989.

## Резюме

В работе приведены результаты исследований в 1992-1993 гг. аэроионизационного состояния, естественной радиоактивности воздуха (радон, торон и ближайшие продукты их распада) и некоторых микроклиматических характеристик (температура, влажность воздуха, содержания аэрозолей и озона) Цхалтубской пещеры.

Отмечается высокий уровень естественной радиоактивности воздуха в пещере, и как следствие, большие концентрации легких аэроионов. Проведено сопоставление данных о естественной радиоактивности и аэроионах в Цхалтубской пещере с аналогичными данными, полученными ранее для Новоафонской пещеры. Показано, что для обеих пещер характерны значительные колебания содержания в воздухе радиоактивности и легких ионов в пространстве и времени. Отмечается наличие в пещере “эффекта водопада”.

Данные о других микроклиматических характеристиках Цхалтубской пещеры находятся в приблизительном соответствии с аналогичными данными, полученными для этой же пещеры ранее. Результаты исследований содержания озона в воздухе пещеры свидетельствует о крайне незначительном обмене воздуха пещеры с атмосферным.

Полученные данные сопоставлены с результатами аналогичных исследований в Грузии и за рубежом.

В перспективе предполагается проведение систематических исследований ионизационного состояния и естественной радиоактивности воздуха Цхалтубской пещеры как в научных, так и в целях экологического контроля безопасности обслуживающего персонала.

## რ ე ზ ი უ მ ე

ნაშრომში მოცემულია წყალტუბოს მღვიმეში 1992-1993 წლებში შესრულებული აეროიონიზაციური მდგომარეობის და ჰაერის ბუნებრივი რადიოაქტივობის (რადონი, თორონი და მათი დაშლის უახლოესი პროდუქტები) შესწავლის, ასევე ზოგიერთი მიკროკლიმატური დაკვირვების (ჰაერის ტემპერატურა, სინოტივე, აეროზოლებისა და ოზონის შემცველობა) შედეგები.

მღვიმის ჰაერში აღინიშნება მაღალი ბუნებრივი რადიოაქტივობა, და როგორც შედეგი – მსუბუქი იონების დიდი კონცენტრაცია. მონაცემები ბუნებრივ რადიოაქტივობასა და აეროიონებზე შედარებულია ახალი ათონის მღვიმეში მიღებულ მონაცემებთან. ნაჩვენებია, რომ ორივე მღვიმისათვის დამახასიათებელია ჰაერში რადიოაქტივობისა და მსუბუქი იონების მნიშვნელოვანი ცვალებადობა დროსა და სივრცეში. წყალტუბოს მღვიმეში აღინიშნება “ჩანჩქერის ეფექტის” არსებობა.

წყალტუბოს მღვიმის სხვა მიკროკლიმატური მახასიათებლები ადრე აქ მიღებული მონაცემების მსგავსია. მღვიმის ჰაერში ოზონის შემცველობის განსაზღვრამ დაადასტურა, რომ ზედაპირთან ჰაერცვლა ფრიად შეზღუდულია.

მიღებული მონაცემები შედარებულია საქართველოში და საზღვარგარეთ შესრულებული ანალოგიური კვლევის შედეგებთან.

მომავალში გათვალისწინებულია წყალტუბოს მღვიმის ჰაერის იონიზაციური მდგომარეობის და ბუნებრივი რადიოაქტივობის სისტემატური კვლევა როგორც სამეცნიერო მიზნით, ისე ეკოლოგიური კონტროლის თვალსაზრისით, რაც აუცილებელია მღვიმის მომსახურე პერსონალის უსაფრთხოებისათვის.

## S u m m a r y

The book represents the results of investigation the air ionization, natural air radioactivity (radon, thoron and their nearest disintegration products) and some microclimatic features (temperature, air humidity, aerosols content and ozone) of Tskaltubo cave in 1992-1993 years.

High level of natural air radioactivity and great accumulation of small ions as its consequence is noted in the cave. Data on natural air radioactivity and aeroions of Tskaltubo cave are compared with analogous data obtained earlier in New Afon cave. It's obvious that important fluctuation of air radioactivity and small ions is characterized for both caves in time and space. "Waterfall effect" is also observed there.

Other microclimatic features of Tskaltubo cave merely agree with the analogous data received earlier in it. Insignificant exchange of cave air with atmospheric is testified by the results of ozone content study. The received data are compared with the similar study results carried out in Georgia and abroad.

In future it is planned to carry the systematical investigation of air ionization and natural radioactivity in Tskaltubo cave both for the sake of science and ecological safety control of attending staff.

## Содержание

Введение .....	5
1. Краткая карстово-спелеологическая характеристика Цхалтубской пещеры .....	7
2. Образование и характеристики излучения изотопов радона и короткоживущих продуктов их распада .....	16
3. Образование и характеристика аэроионов .....	18
4. Лечебное действие аэроионов .....	22
5. Методика определения радиоактивности воздуха, содержания аэроионов и других микроклиматических характеристик пещеры .....	26
5.1 Определение радиоактивности воздуха .....	26
5.2 Определение концентрации легких ионов в воздухе .....	27
5.3 Определение содержания аэрозоль в воздухе .....	27
5.4 Определение других микроклиматических характеристик пещеры .....	28
6. Естественная радиоактивность воздуха, микроклиматические характеристики и аэроионизационное состояние Цхалтубской пещеры .....	29
6.1 Естественная радиоактивность Цхалтубской пещеры .....	29
6.2 Микроклиматические характеристики Цхалтубской пещеры .....	32
6.3 Аэроионизационное состояние Цхалтубской пещеры .....	34
Заключение .....	42
Список литературы .....	45

## შ ი ნ ა ა რ ს ი

შესავალი .....	5
1. წყალტუბოს მასივის მოკლე კარსტულ-სპელეოლოგიური დახასიათება .....	7
2. რადონის იზოტოპების გამოსხივებისა და მათი დაშლის პროდუქტების წარმოქმნა და დახასიათება .....	16
3. აეროიონების წარმოქმნა და დახასიათება .....	18
4. აეროიონების სამკურნალო ზემოქმედება .....	22
5. მღვიმის ჰაერის რადიოაქტივობის, აეროიონების შედგენილობისა და სხვა მიკროკლიმატური მახასიათებლების განსაზღვრის მეთოდოლოგია .....	26
5.1 ჰაერის რადიოაქტივობის განსაზღვრა .....	26
5.2 ჰაერში მსუბუქი იონების კონცენტრაციის განსაზღვრა .....	27
5.3 ჰაერში აეროზოლების შემცველობის განსაზღვრა .....	27
5.4 მღვიმის სხვა მიკროკლიმატური მახასიათებლების განსაზღვრა . .	28
6. წყალტუბოს მღვიმის ჰაერის ბუნებრივი რადიოაქტივობა, მიკროკლიმატური მახასიათებლები და აეროიონიზაცია .....	29
6.1 წყალტუბოს მღვიმის ბუნებრივი რადიოაქტივობა .....	29
6.2 წყალტუბოს მღვიმის მიკროკლიმატური დახასიათება .....	32
6.3 წყალტუბოს მღვიმის აეროიონიზაციური მდგომარეობა .....	34
დასკვნა .....	42
ლიტერატურა .....	45

## CONTENTS

Introduction . . . . .	5
1. Brief karst – speleological characteristics of Tskaltubo cave. . . . .	7
2. Formation and characteristics of radon isotopes radiation and their short - living disintegration products . . . . .	16
3. Formation and characteristics of aeroions . . . . .	18
4. Curative effect of aeroions . . . . .	22
5. Method of definition the air radioactivity, air ionization and other microclimatic features of the cave . . . . .	26
5.1 Definition of air radioactivity . . . . .	26
5.2 Definition of small ions concentration in the air . . . . .	27
5.3 Definition of aerosols content in the air . . . . .	27
5.4 Definition of other microclimatic features of the cave . . . . .	28
6. Natural air radioactivity, microclimatic characteristics and air ionization in Tskaltubo cave . . . . .	29
6.1 Natural radioactivity in Tskaltubo cave . . . . .	29
6.2 Microclimatic characteristics of Tskaltubo cave . . . . .	32
6.3 Air ionization in Tskaltubo cave . . . . .	34
Conclusion . . . . .	42
References . . . . .	45

შეკვეთა 578

ტირაჟი 300

---

საწარმოო საგამომცემლო გაერთიანება “მეცნიერება”, თბილისი,  
გამრეკელის ქ. № 19