

**РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОЙ ЭКСПЕДИЦИИ ПО
ИССЛЕДОВАНИЮ ГОЛУБОГО ОЗЕРА (ЦЕРИК-КЕЛЬ)**

N. Maksimovich, O. Meshcheriakova, A. Demenev
Institute of Natural Sciences of Perm State University

**SCIENTIFIC RESULTS OF
AN EXPEDITION TO THE BLUE LAKE (CHERIK-KEL)**

Summary

The new results of the unique scientific expedition "Blue Lake-2016" (Kabardino-Balkaria, Russia) are presented. Research results include new facts about the lake morphometry, geological structure, hydrochemical features, and hydrological parameters as well. During the expedition a new maximum depth of the lake (279 m) was discovered. Environmental protection aspects were proposed for the Blue lake area.

В предыдущем, 39-м выпуске сборника «Пещеры» в разделе «Хроника» авторы привели краткий отчет о прошедшей с 15 сентября по 15 октября 2016 г. в Черекском ущелье Кабардино-Балкарской Республики экспедиции по комплексному изучению уникального карстового объекта — Голубого озера (Церик-Кель). Организатором экспедиции выступил Центр подводных исследований Русского географического общества. В 2017 г. выполнена обработка данных, получены новые интересные результаты [13, 14, 17].

Озеро Церик-Кель расположено на высоте 809 м над уровнем моря. Это объект мирового значения: одно из самых глубоких карстовых озер в мире и самое глубокое озеро-источник на Земле (рис. 1), поэтому оно привлекает к себе немало внимания среди исследователей [1, 5, 8, 10, 11, 15, 16].



Рис. 1. Визуализация плана Голубого озера

Феномен одного из глубочайших карстовых озер состоит в том, что оно не имеет внешних притоков, но при этом из него за сутки вытекает в реку более 70 миллионов литров воды. Температура воды здесь стабильна в течение всего года и держится на отметке около 9°C по всей глубине. Озеро практически необитаемо, в его водах водится только рачок гаммарус.

Экспедиция 2016 г. является примером совместной работы нескольких групп специалистов: водолазов, врачей, ученых и медиагруппы. Всего в экспедиции приняло участие более 50 человек из Москвы, Санкт-Петербурга, Перми и Краснодара. Исследование таких масштабов было проведено здесь впервые.

Водолазная группа отработывала погружения и помогала со сбором проб воды, грунта, водорослей до глубины 100 м, а также занималась визуальным обследованием стенок озера. Для подводного изучения объекта использовались три управляемых глубоководных аппарата: одноместный Deep Worker-2000, двухместный Dual Deep Worker-2000 и трехместный C-Explorer 3. Также использовались телеуправляемые необитаемые подводные аппараты «Марлин-350» и GNOM, с помощью которых отбирались пробы грунта и воды, измерялась температура, проводилась радарная съемка (рис. 2–4).



Рис. 2. Глубоководные аппараты, используемые при исследованиях



Рис. 3. Шприц для отбора воды, прикрепленный к ТНПА «Марлин-350»

Специалисты Военно-медицинской академии исследовали реакции человеческого организма под водой на разных глубинах. Итогом работы медиагруппы экспедиции стало создание информационного сайта об озере (<http://urc-rgs.ru/>). Отснято много видео- и фотоматериала, планируется выпуск нескольких документальных фильмов.

Научным руководителем экспедиции стал главный редактор сборника «Пещеры», один из авторов этой статьи. Сотрудники института, обеспечивавшие научное сопровождение проекта, провели рекогносцировочное обследование района карстовых озер, выполнили анализ морфометрии озера, провели замеры уровня воды в



Рис. 4. Подъем шприца с пробой воды с глубины 200 м

озере, расхода вытекающей реки, прозрачности, температуры, окислительно-восстановительного потенциала, проводимости, pH среды и минерализации в приповерхностном слое воды, уточнили данные по изменению температуры с глубиной и реализовали ряд других исследований.

Результаты исследований

Закарстованность района исследований. Наклонное плато, к которому приурочено озеро, представляет собой поверхность массива известняков верхней юры и валанжинского яруса нижнего мела. Общая мощность известняков достигает 1300–1700 м. Падая умеренно круто на северо-восток, известняки несколько севернее Церик-Кель уходят под дневную поверхность и перекрываются свитой мергелей, глин и глинистых песчаников с прослоями известняков; эта свита включает в себе готеривский и барремский ярусы нижнего мела. В окрестностях Голубого озера находится еще ряд озер: Секретное (оз. Зашырым-Кель), Верхнее и Кель-Кетчхен (в переводе с балкарского — «озеро утекло») [9] (рис. 5). Сток из Секретного озера прекратился уже в наше время. Озеро питается за счет родников в его восточной части. Вода разгружается через дно — скорее всего, в районе юго-западного берега. При усилении фильтрации, что часто бывает в карстовых районах, озеро может уменьшиться в размерах или вообще исчезнуть [7, 12].

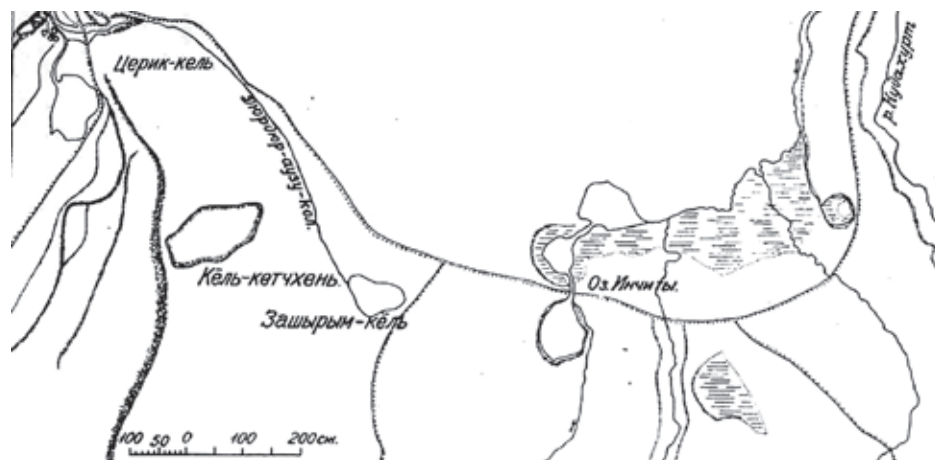


Рис. 5. План окрестностей Церик-Кель [11]

В полукилометре на юго-восток от озера Церик-Кель расположен провал эллипсовидной формы Кель-Кетчхен с периметром 995 м, длиной по большой оси 391 м, наибольшей шириной 191 м и площадью 46 313 м² [9]. Вертикальные стенки котловины сложены известняками, а максимальная глубина составляет 177 м [11].

В ходе обследования в верхней части северо-восточной стенки этой котловины обнаружен небольшой каньон шириной 3–4 м с отвесными стенками высотой до 3 м, сложенный известняками. Детальное обследование каньона позволяет

с уверенностью утверждать, что он представляет собой древний канал стока из некогда громадного озера-источника, подобного Голубому.

В настоящее время озеро исчезло. Это связано с двумя основными причинами. Во-первых, по мере углубления долины Череха, главной дрены этого района [2, 3], упали напоры водоносного горизонта, восходящие воды которого образовали озеро. Во-вторых, водообильность горизонта в геологическом масштабе времени постоянно меняется, что связано с глобальными изменениями климата и, как следствие, изменениями количества осадков, а также темпов образования и таяния ледников. На данный момент регион вошел в относительно маловодную фазу.

При рекогносцировочных маршрутах в районе Сухого озера были обнаружены формы рельефа, напоминающие русло реки. Вероятно, в прошлом Сухое озеро было также озером-источником, как Голубое озеро, из которого вытекала река.

Морфометрия озера. Озеро относится к классическим коррозионным озерам, образованным напорными водами зоны вертикальной восходящей (сифонной) циркуляции. Имеет форму удлиненного по меридиану четырехугольника, вершины которого закруглены, а стороны несколько волнисты вследствие наличия небольших мысов и заливов (рис. 6). Максимальная длина озера составляет 235 м, ширина — 120–130 м, площадь — 26 га.

Характер берегов определяется положением озера на флювиогляциальной террасе: так как эта терраса представляет собой ровную поверхность, и вытекающая из озера речка еще не успела углубить в ней своего русла, то, естественно, берега

озера низкие, едва возвышающиеся над его уровнем. Наибольшая высота берега на южном и юго-западном конце озера не превышает 3–4 м над зеркалом воды. Берега почти всюду крутые, обрывистые. Восточный берег представляет собой обрыв валанжинских известняков, на которых лишь местами сохранились отдельные валуны террасы. Остальные берега сложены галечниками.

Для изучения строения стенок озера, их структуры и текстуры совершались глубоководные погружения на управляемом аппарате С-Explorer 3, которые позволяли вести визуальное обследование уникального озера.

В разрезе озеро имеет форму кувшина с воронкой сверху, узким горлышком-колодцем и сферической формой внизу. Дно покрыто илом и обвальными горными породами.



Рис. 6. План Голубого озера [6]

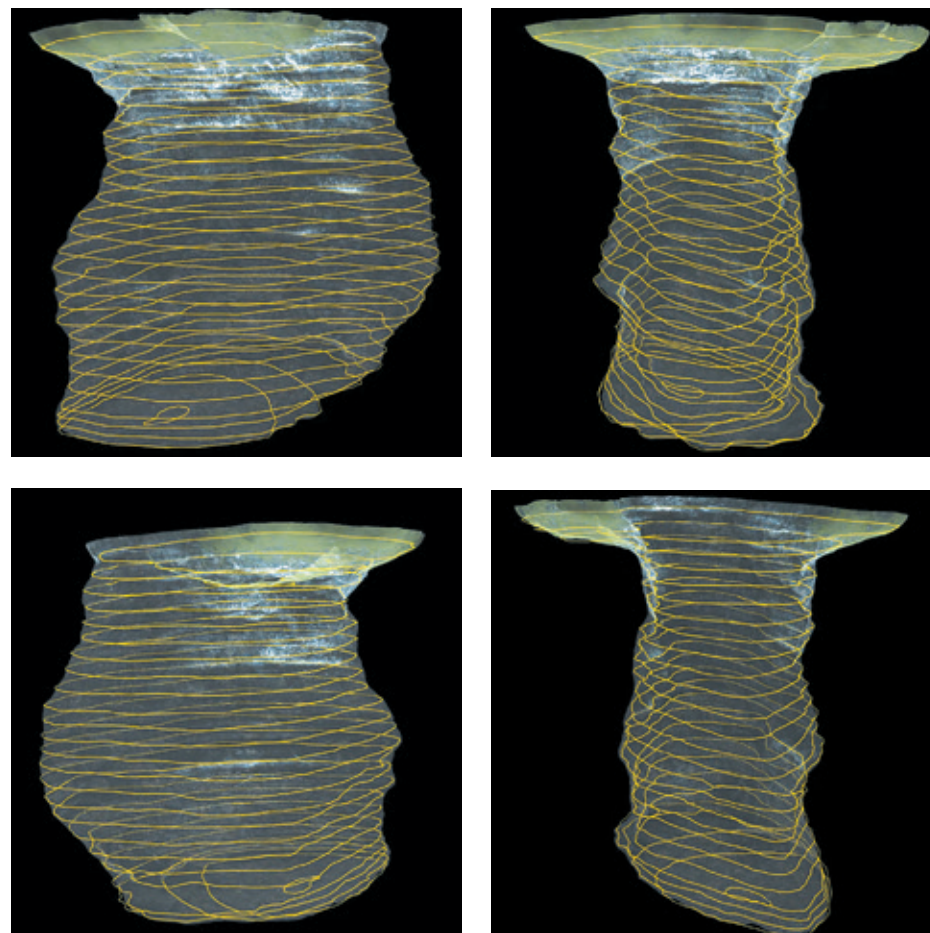


Рис. 7. 3D-модель Голубого озера (с поверхности до глубины 225 м) в четырех проекциях

Глубина озера, по материалам прошлых лет [4–6, 11], составляла 258 м. Результатом проведенных исследований стало установление новой глубины — 279 м. Это оказалось возможным благодаря управляемому и беспилотному глубоководным аппаратам.

Были обнаружены три новых грота. Первый зафиксирован на северо-восточной стенке озера, на глубине 100 м с входным диаметром около 40 м. Грот имеет форму лисьей головы, сужаясь к концу. Минимальный разведанный диаметр — 4 м.

Второй грот обнаружен на юго-восточной стенке на глубине 260 м с входным диаметром около 8 м. В этом гроте беспилотный аппарат зафиксировал глубину 276 м, но она не является окончательной, поскольку из-за низкой видимости работа «Марлина» была приостановлена.

Позже при погружении научной группы на глубоководном управляемом аппарате C-Explorer 3 был обнаружен вход в третий грот, который находился рядом со вторым за каменным языком, с входным диаметром около 15 м. В ходе исследования грота беспилотным аппаратом удалось установить глубину в 279 м, что на 21 м превышает ранее установленную [11] отметку.

По данным беспилотного глубоководного аппарата «Марлин», с помощью которого производилась съемка бортов и дна озера, была построена его трехмерная модель (рис. 7). Исходя из этих данных, подтвержденных визуальным обследованием стенок озера дайверами, озеро имеет сложную форму с отрицательным наклоном стенок на глубинах от 60 до 140 м и далее ниже 200 м (рис. 8).

При визуальном обследовании озера на глубоководном управляемом аппарате в стенках озера были обнаружены расщелины и трещины, а на дне — обвальный материал со стенок и слой ила.

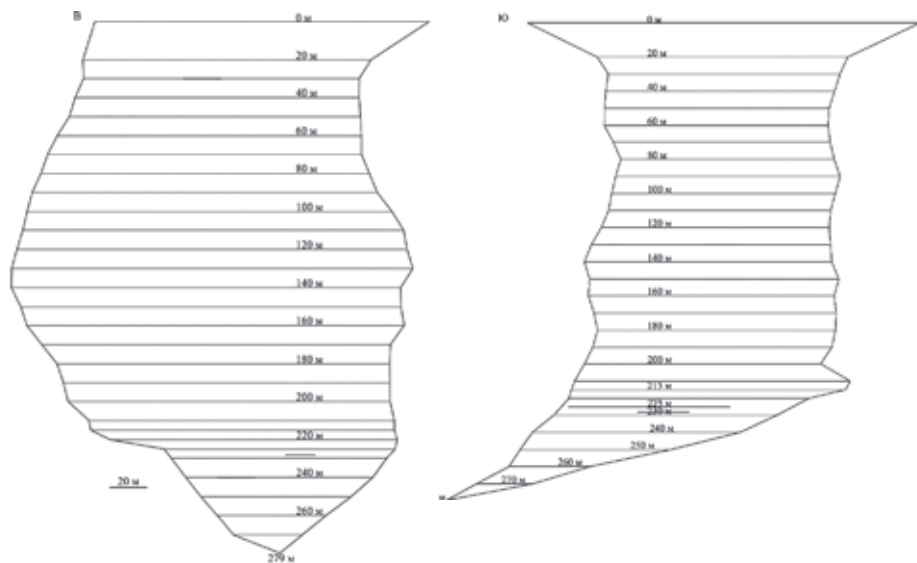


Рис. 8. Профили озера

Физико-химические параметры озера. Для детального исследования вод Голубого озера, пространственной изменчивости параметров воды в озере, а также с целью поиска зон субаквальной разгрузки подземных вод выполнено изучение вод озера по следующим параметрам: рН, Eh, TDS (соленость вод), электропроводность воды, температура. В период полевых исследований на Голубом озере было произведено свыше 1350 замеров различных показателей.

По результатам полевых исследований установлено, что воды Голубого озера по величине рН относятся к слабощелочным, показатель изменяется в пределах 7,89–8,16.

При замерах окислительно-восстановительного потенциала в пробах воды фиксировались как отрицательные, так и положительные значения Eh. Вероятно, это может быть связано с изменением концентраций сероводорода в озере. В целом по показателю окислительно-восстановительного потенциала значения варьируются от -197 до +75 мВ.

Показатели электропроводности и TDS (солености) связаны между собой, их значения варьируются в пределах 1057–1395 мкСм и 503–652 ppm соответственно.

Температура воды на поверхности озера фиксировалась параллельно с остальными замерами. Ее значения в основном зависели от погодных условий и времени суток, однако среднее значение на период исследований составляло 10,5–11,5°C. Изменение температуры поверхности озера зависит от многих факторов (температура воздуха, время суток, проведение глубоководных работ), поэтому распределение изолиний носит непостоянный характер, но при этом выделяется зона повышенных температур в юго-западной части озера и прослеживается закономерность понижения температуры от центральной части в северо-западном направлении (к истоку реки).

Проведенные замеры глубинным термометром с поверхности до 250 м, подтвердили ранее полученные результаты [11] о постоянстве температуры с глубиной (9,3°C). Температурного скачка не обнаружено (рис. 9).

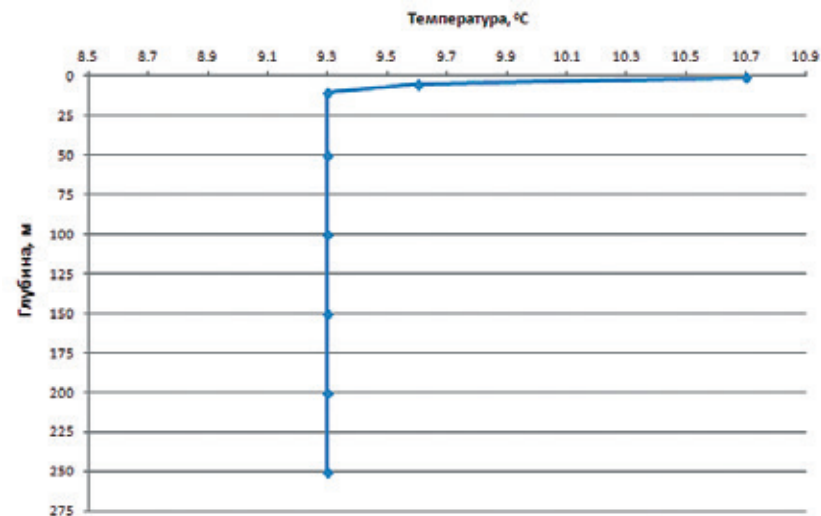


Рис. 9. Температура воды на различных глубинах

Гидрология озера. Прозрачность воды оценивалась в полевых условиях способом определения глубины исчезновения из вида диска Секки. В период исследований прозрачность изменялась от 20,3 м до 29,5 м. Результаты измерений прозрачности представлены на рис. 10.

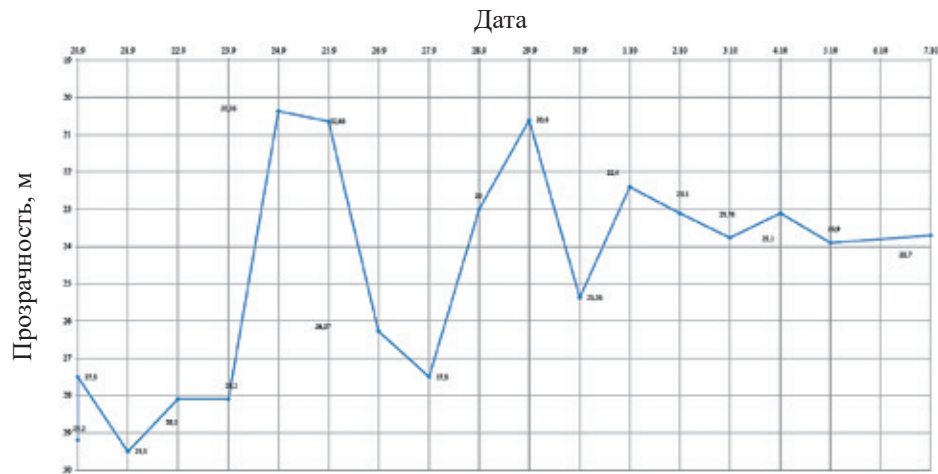


Рис. 10. Прозрачность вод Голубого озера

Для замеров уровня поверхностных вод в Голубом озере была установлена специальная рейка с измерительной шкалой. Уровень вод в озере изменялся от 41,7 см до 44,5 см (рис. 11).

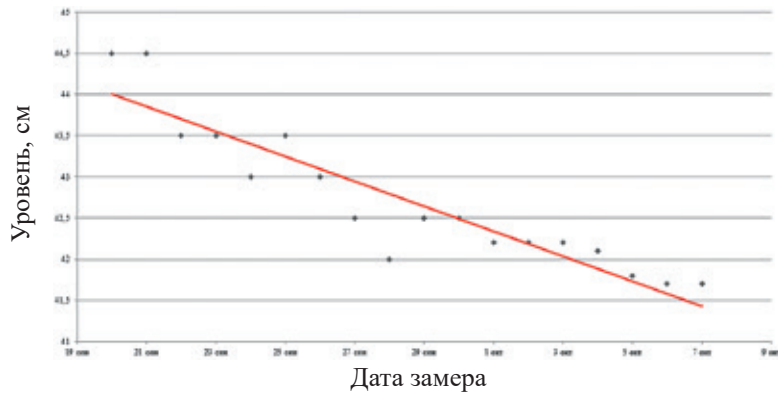


Рис. 11. Уровень воды в Голубом озере

Расходы воды в реке, вытекающей из Голубого озера, за период исследований изменялись от 56 981 м³/сут до 79 721 м³/сут (рис. 12).

В период наблюдений уровень вод в озере имел тенденцию к снижению. Расход воды, вытекающей из озера, также сокращался. По приведенным данным прослеживается прямая зависимость расхода воды в реке от уровня в Голубом озере, также можно сделать вывод о том, что гидрологические параметры современного озера сопоставимы с данными 1929 г. [11].

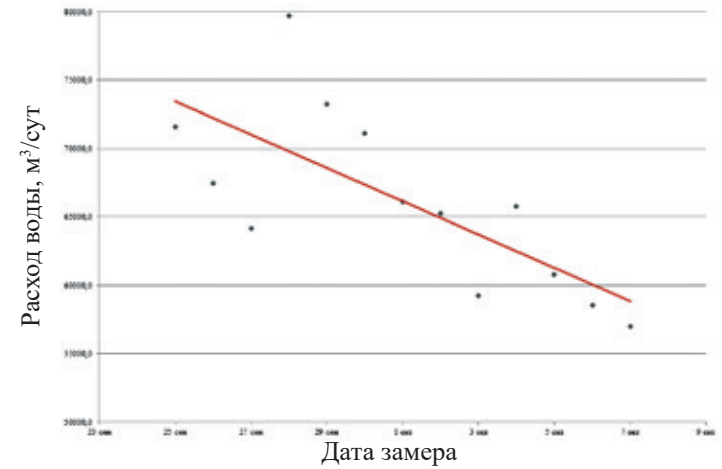


Рис. 12. Изменение расхода воды в реке, вытекающей из Голубого озера

Гидрогеохимия озера. Химический состав вод исследовался по следующему спектру компонентов: HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ и K^+ , NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , F^- , Sr^{2+} , PO_4^{2-} , минерализация, водородный показатель (рН), окислительно-восстановительный потенциал (Eh), электропроводность, соленость.

Установлено, что воды Голубого озера имеют преимущественно сульфатно-кальциевый химический состав. Содержание сульфатов изменяется от 509,7 до 577,0 мг/дм³, при этом максимальные значения зафиксированы ближе к дневной поверхности озера, а минимальные — на глубине 250 м (рис. 13).

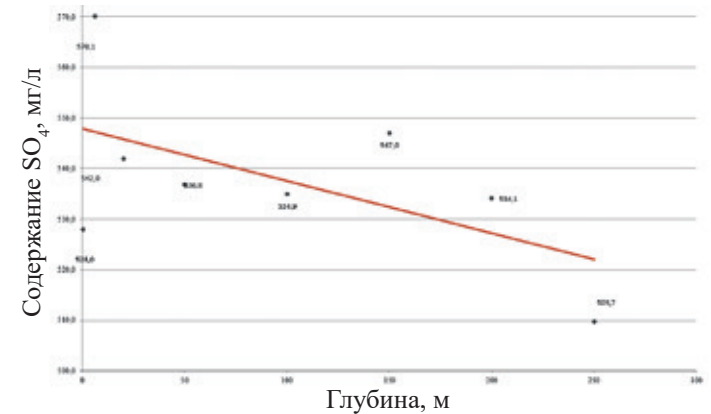


Рис. 13. Содержание сульфатов в Голубом озере

Вероятно, это связано с тем, что разгрузка подземных вод происходит в глубоких частях озера и постепенно, с подъемом к дневной поверхности, вода

насыщается сульфатами. На рис. 13 отображена четко выраженная тенденция уменьшения концентрации сульфатов с глубиной.

Общая минерализация вод Голубого озера составляет около 1000 мг/л, значения варьируются от 931,9 мг/л до 1002,04 мг/л. Прослеживается уменьшение минерализации с глубиной. Так как основным компонентом в химическом составе являются сульфаты, то значение минерализации по большей части зависит от их концентрации (рис. 14).

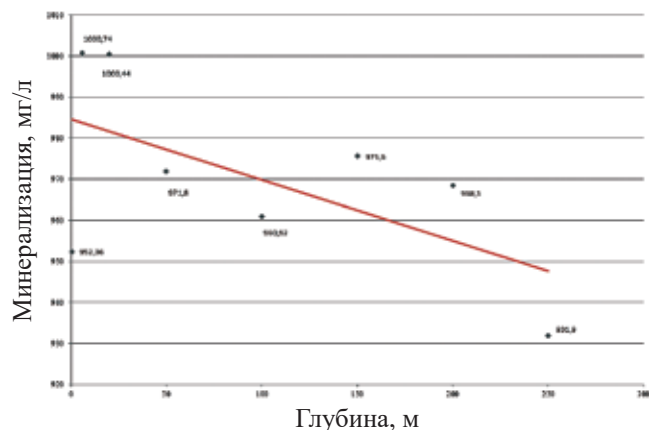


Рис. 14. Минерализация вод в Голубом озере

Проба воды из подземного источника на окраине Бабугента (Кабардино-Балкарская Республика, Черекский район) была взята для пространственного сравнения химического состава вод. Установлено, что подземный источник имеет отличия в химическом составе воды и меньшую минерализацию. Вероятно, подземные воды источника залегают неглубоко от поверхности по сравнению с водами, разгружающимися в Голубое озеро, и имеют разные области питания. Данное сравнение позволяет сделать вывод о том, что водоносный горизонт, питающий Голубое озеро, расположен на значительных глубинах.

Таким образом, воды Церик-Кель имеют сульфатно-кальциевый состав. Разгрузка подземных вод в озеро происходит из глубокозалегающего водоносного горизонта, а по мере восхождения в озеро они насыщаются сульфатами при растворении горных пород. При этом не исключается возможность разгрузки вышележащих водоносных горизонтов в виде локальных источников. Температура вод озера практически не изменяется с глубиной и составляет 9,3°C в различных точках замеров.

В ходе проведения работ были уточнены морфометрические параметры озера, а также установлена новая глубина Голубого озера — 279 м, что является географическим открытием. Установлены новые форма и размеры озера, формирующиеся за счет активно протекающих процессов растворения пород

и обрушения стенок на участках с их отрицательным залеганием. Обнаружено субгоризонтальное продолжение озера, из которого, предположительно, и идет поступление воды в озеро.

Голубое озеро — объект мирового уровня с уникальными характеристиками. Озеро отличает очень маленькая площадь при довольно большой глубине. Церик-Кель представляет собой одновременно несколько уникальных объектов: карстовую шахту (пропасть), карстовый источник и, естественно, озеро.

Необходимо крайне осторожно относиться к ведению инженерной деятельности в этом районе, чтобы сохранить природный памятник мирового значения, каким является Голубое озеро.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асланьян Ю. И. Что прячут глаза птеродактиля? // Компаньон № 4 (62), май 2012. С. 80-88.
2. Владимиров Л. А. Водный баланс Большого Кавказа (без азербайджанской и дагестанской частей). Тбилиси, 1970. 142 с.
3. Гвоздецкий Н. А. Физическая география Кавказа. М.: МГУ, 1954. Выпуск. 1. 208 с.
4. Гигинейшвили Г. Н. Карстовые воды Большого Кавказа и основные проблемы гидрологии карста. — Тбилиси, 1979.
5. Гигинейшвили Г. Н. Температурные скачки озера Чирик-Кель // Природа. — 1982.— № 2.
6. Гигинейшвили Г. Н., Гвахария В. К., Канделаки В. В., Маткава Д. И., Симокишвили Д. М. Чирик-Кель — глубочайшее карстовое озеро СССР // Известия Академии наук СССР. Серия Географическая. — 1983. — № 1.
7. Горбунова К. А., Максимович Н. Г. В мире карста и пещер. Пермь: ТГУ, 1991. 120 с.
8. Грек А. Кувшин джинна // National Geographic, март 2012. С. 103-115.
9. Емузова Л. З., Хатухов А. М. Результаты комплексного исследования Кель-Кетчхен-карстового провала на Центральном Кавказе // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 3. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=20139> (дата обращения: 11.03.2016).
10. Ефремов Ю. В. Голубое ожерелье Кавказа. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 160 с.
11. Кузнецов И. Г. Озеро Церик-кель и другие формы карста в известняках Скалистого хребта на Северном Кавказе // Известия государственного Русского географического общества. — 1928. — Т. LX. — Вып. 2. — С. 245–293.
12. Максимович Г. А. Основы карстования. Т. II. Пермь: Книжная типография № 2, 1969. 530 с. 98
13. Максимович Н. Г., Мещерякова О. Ю., Деменев А. Д. Уникальность карстового озера Церик-Кель (Голубое озеро) в Кабардино-Балкарии // Озера Евразии: проблемы и пути их решения: материалы 1-й Международной конференции (11–15 сентября 2017 г.). — Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2017. — С. 92–98.