

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

© Максимович Н.Г., Мещерякова О.Ю., Деменев А.Д.

Естественнонаучный институт

Пермского государственного национального исследовательского университета

Осенью 2016 г. прошла масштабная экспедиция по изучению уникального карстового объекта – Голубое озеро (Церик-Кель) в Кабардино-Балкарии. В рамках экспедиции, организованной Центром подводных исследований Русского географического общества, были получены новые данные об особенностях одного из глубочайших карстовых озер планеты.

Ключевые слова: *Голубое озеро (Церик-Кель), карст, уникальный объект, морфология озера, геология, гидрохимические особенности*

В Черекском ущелье Кабардино-Балкарской Республики расположен уникальный карстовый объект мирового значения – Голубое озеро (Церик-Кель) (рис. 1). Несмотря на его значимость в современной истории не проводилось его комплексного изучения. Масштабная научная экспедиция, прошедшая в 2016 г и организованная Центром подводных исследований Русского географического общества была направлена на изучение морфологии озера, его геологического строения, гидрологических и гидрогеологических условий, особенностей его образования и ряда других вопросов. Первые результаты изучения озера были опубликованы в [1], за прошедшее время получены новые данные об объекте изучения, проведен их анализ, а также подведены итоги исследований.

Церик-Кель, расположенное на высоте 809 м над уровнем моря, является объектом мирового значения, одним из самых глубоких карстовых озер в мире и самым глубоким озером-источником на Земле. Феномен одного из глубочайших карстовых озер состоит в том, что оно не имеет внешних притоков, но при этом из него за сутки в реку вытекает более 70 миллионов литров воды. Уровень воды здесь стабилен в течение всего года, впрочем, как и температура, которая держится на отметке около 9°C по всей глубине. Озеро практически необитаемо, в его водах водится только рачок гаммарус (рис. 1).



Рис. 1. Визуализация плана Голубого озера

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

Водолазная группа при погружениях отбирала пробы воды, грунта, водорослей до глубины 100 м, а также проводила визуальное обследование стенок озера. Для подводного изучения объекта использовались три управляемых глубоководных аппарата: одноместный DeepWoker-2000, двухместный Dual DeepWoker-2000 и трехместный C-Explorer 3. Также использовались телеуправляемые необитаемые подводные аппараты «Марлин-350» и «GNOM», с помощью которых производился отбор проб грунта и воды, замер температур, радарная съемка (Рис. 2, Рис. 3, Рис. 4).



Рис. 2. Глубоководные аппараты, используемые при исследованиях

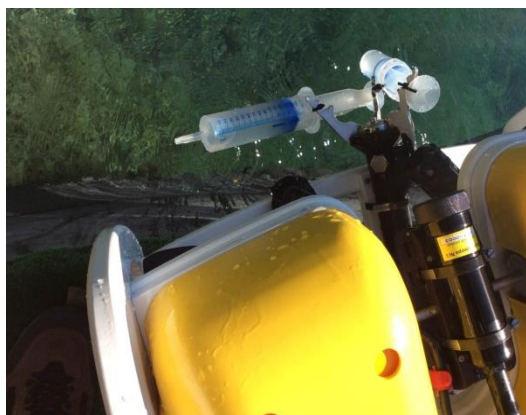


Рис. 3. Шприц для отбора воды, прикрепленный к ТНПА «Марлин-350»



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

Результаты исследований

Закарстованность района исследований. В окрестностях Голубого озера находится еще ряд озер: Секретное (оз. Зашырым-Кель), Верхнее и Кель-Кетчхен (в переводе с балкарского «озеро утекло») [2] (Рис. 5). Уже в «наше время» прекратился сток из Секретного озера. Озеро питается за счет родников в его восточной части. Вода разгружается через дно озера, скорее всего, в районе юго-западного берега. При усилении фильтрации, что часто бывает в карстовых районах, озеро может уменьшиться в размерах или вообще исчезнуть.

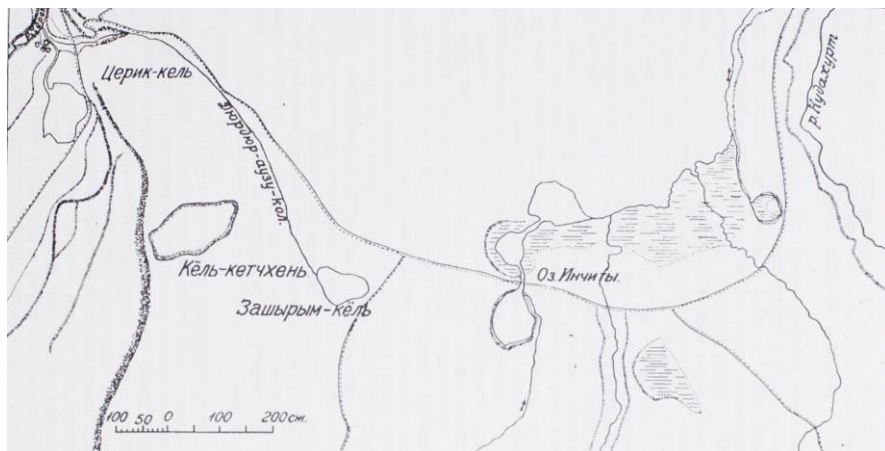


Рис. 5. План окрестностей Церик-Кель [3]

В полукилометре на юго-восток от озера Церик-Кель расположен провал эллипсовидной формы Кель-Кетчхен с периметром в 995 м, длиной по большой оси – 391 м, наибольшей шириной – 191 м, площадью 46313 м² [2]. Вертикальные стенки котловины сложены известняками, а максимальная глубина составляет 177 м [3].

В ходе обследования в верхней части у 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.

Почему же в настоящее время озеро «утекло»? Это связано с двумя основными причинами. Во-первых, по мере углубления долины Череха, главной дрены этого района, 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. В настоящее время 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. Озеро имеет форму удлинённого по меридиану четырехугольника, вершины которого закруглены, а стороны несколько волнисты вследствие наличия небольших мысов и заливчиков (Рис. 6); максимальная длина озера составляет 235 м, ширина – 120–130 м, площадь – 26 га.

Наибольшая длина по диагонали равна 235 м; средняя ширина около 120–130 м, а наименьшая – 115 м. Характер берегов определяется положением озера на флювиогляциальной террасе: так как эта терраса представляет ровную поверхность и так как вытекающая из озера речка еще не успела углубить в террасе своего русла, то, естественно, берега озера низкие, едва-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 обрыв валанжинских известняков, на которых лишь местами сохранились отдельные валуны террасы; остальные берега сложены галечниками.

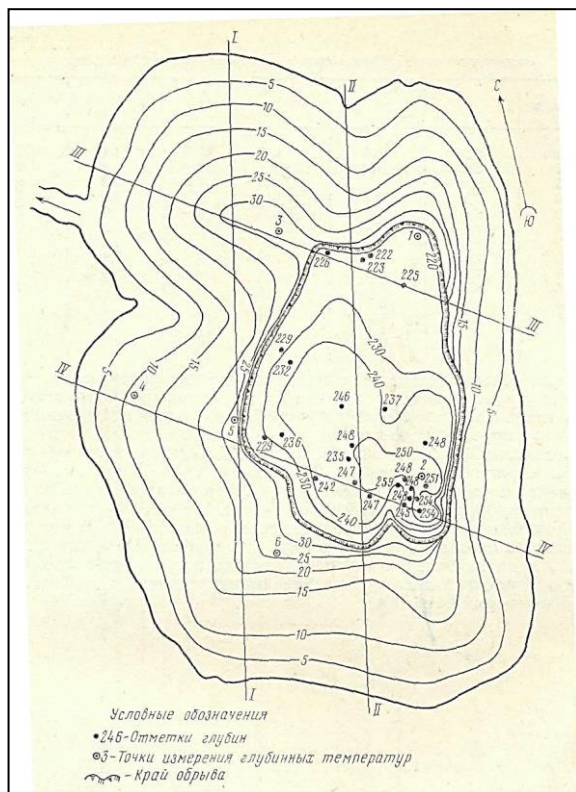


Рис. 6. План Голубого озера [4]

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

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

Изведенная глубина озера по материалам исследований прошлых лет [3-6] составляла 258 м (Рис. 6). Результатом проведенных исследований стало установление новой глубины – 279 м. Это стало возможным, благодаря управляемому и беспилотному глубоководным аппаратам.

Были обнаружены три новые пещеры. Первая была зафиксирована оператором глубоководного пилотируемого аппарата на северо-восточной стенке озера на глубине 100 м с входным диаметром около 40 м. Пещера имеет форму «лисий головы», сужаясь к концу. Минимальный изведенный диаметр – 4 м.

Вторая пещера была также обнаружена оператором на юго-восточной стенке на глубине 260 м с входным диаметром около 8 м. В этой пещере беспилотным аппаратом «Марлин» была зафиксирована глубина 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 третью пещеру, который находился рядом со второй за каменным языком, с входным диаметром около 15 м. В ходе исследования пещеры беспилотным аппаратом удалось установить глубину в 279 м, что на 21 м превышает ранее установленную [3] глубину.

По данным беспилотного глубоководного аппарата «Марлин», с помощью которого была произведена 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 были обнаружены расщелины и трещины в стенках озера. На дне – обвальный материал со стенок и слой ила.

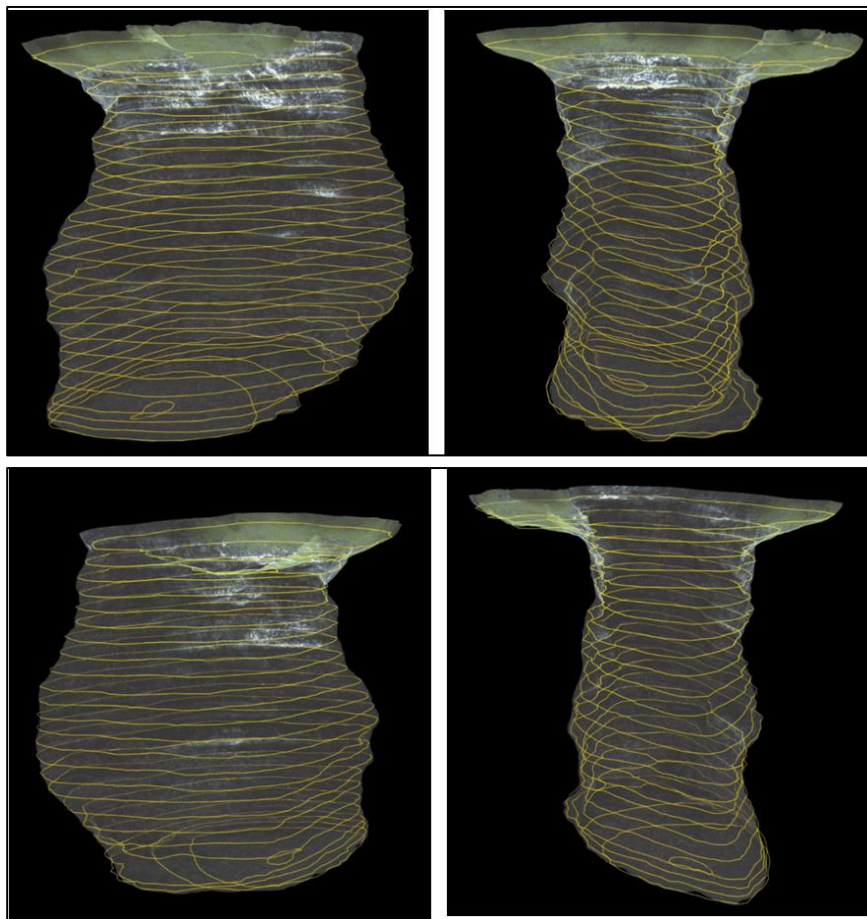


Рис. 7. 3D модель Голубого озера (с поверхности до глубины 225 м)
в четырех проекциях

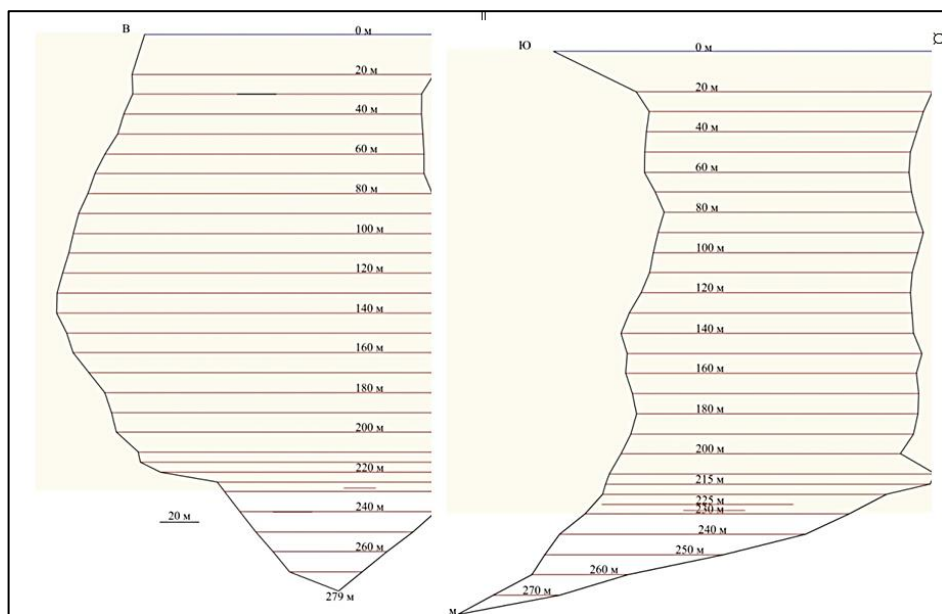


Рис. 8. Профили озера

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: pH, Eh, TDS (соленость вод), электропроводность воды, температура.

По результатам полевых исследований установлено, что воды Голубого озера по величине pH (кисотно-щелочному балансу) 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 данному показателю окислительно-восстановительного потенциала значения варьируются от -197 до +75 мВ.

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

Температура воды поверхности озера фиксировалась параллельно с остальными замерами, ее значения в основном зависели от погодных условий и времени суток, средняя температура воды поверхности озера на период исследований составляла 10,5-11,5 °С. Изменение температуры по 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).

Также были проведены замеры глубинным термометром с отметки 0 м до 250 м, которые подтвердили ранее полученные результаты [3] о постоянстве температуры с глубиной (9,3 °C). Температурного скачка обнаружено не было (Рис. 9).

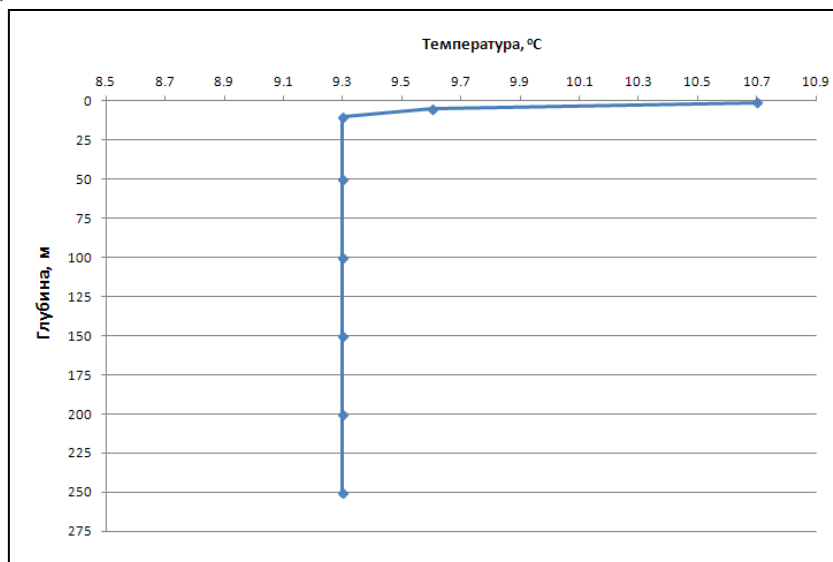


Рис. 9. Изменение температуры на различных глубинах

Гидрология озера. Прозрачность воды определялась в полевых условиях с использованием диска Секки и в период исследований изменялась от 20,3 м до 29,5 м. Результаты измерений прозрачности представлены на рисунке 10.

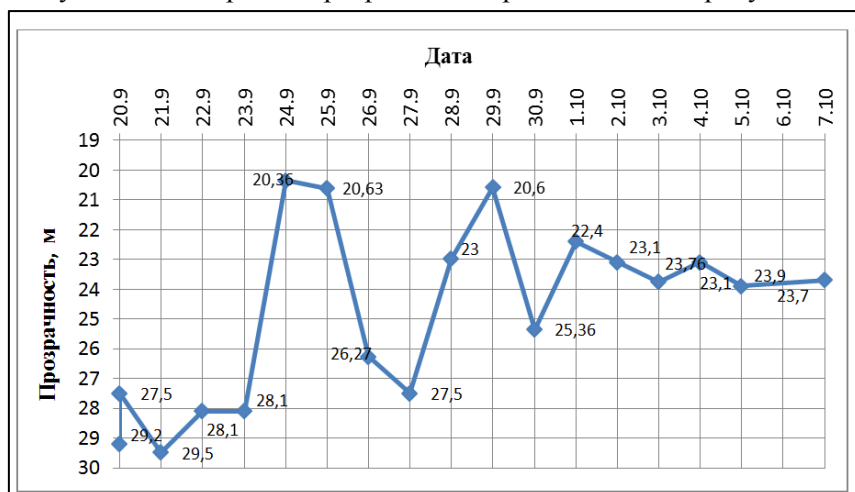


Рис. 10. Прозрачность вод Голубого озера

Для замеров уровня *поверхностных* вод в Голубом озере была установлена специальная рейка с измерительной шкалой. Результаты замеров представлены на Рис. 11.

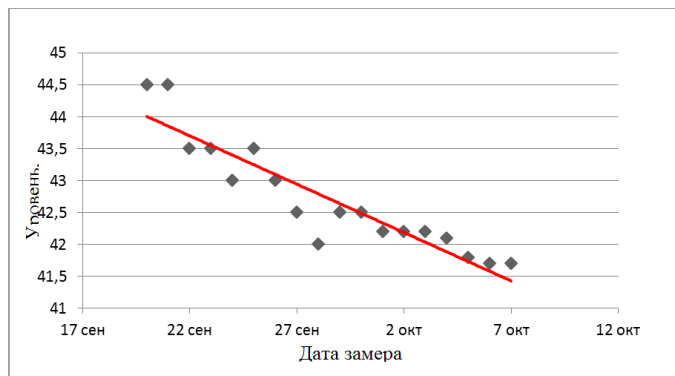


Рис. 11. Изменение уровня вод в Голубом озере

Расходы воды в реке, вытекающей из Голубого озера, за период исследований изменялись от 56981 м³/сут до 79721 м³/сут, уровень вод в озере также изменялся от 41,7 см до 44,5 см (Рис. 12).

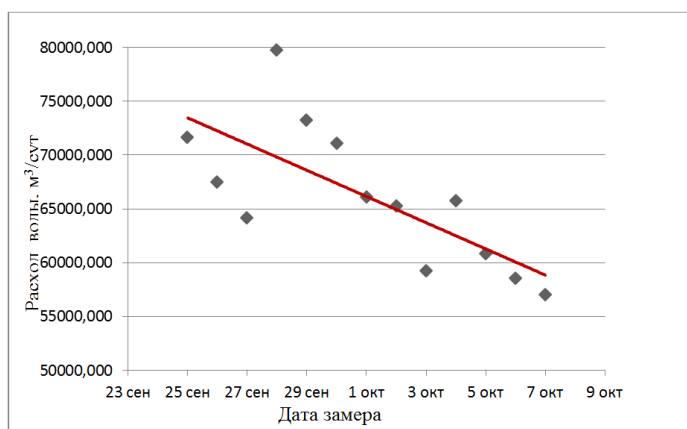


Рис. 12. Изменение расхода воды в реке

В период наблюдений уровень вод в озере имел тенденцию к снижению, в свою очередь расход воды, вытекающей из озера, также сокращался. Из приведенных данных видно, что прослеживается некая зависимость расхода воды в реке от уровня в Голубом озере.

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^- , Si^{2+} , PO_4^{2-} , минерализация, водородный показатель (pH), окислительно-восстановительный потенциал (Eh), электропроводность, соленость.

По результатам исследований 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). 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.

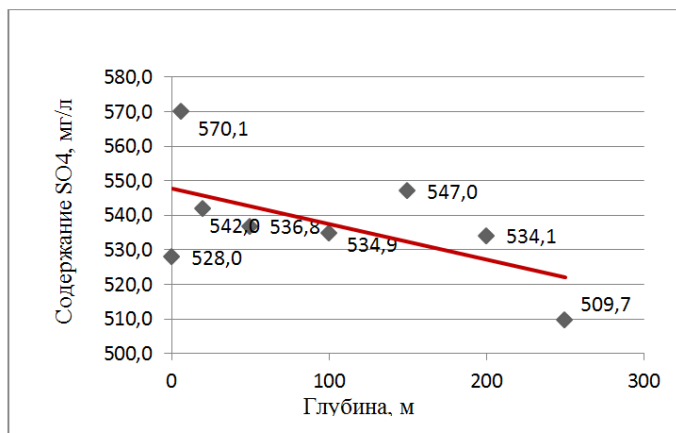


Рис. 13. Изменение содержания сульфатов с глубиной в Голубом озере

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 в большей части зависит от их концентрации. На рис. 14 отображены изменения общей минерализации вод Голубого озера с глубиной.

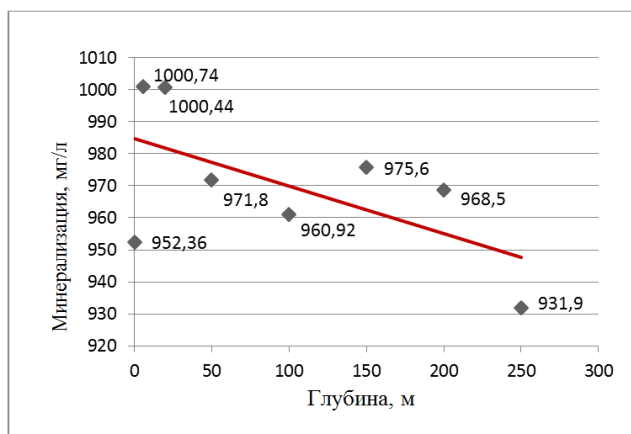


Рис. 14. Изменение минерализации вод в Голубом озере с глубиной

Проба воды из подземного источника, на окраине Бабугента (КБР, Черекский район), была отобрана 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, подземные воды Голубого озера имеют сульфатно-кальциевый состав и приурочены к коренным породам. Разгрузка вод происходит из глубокозалегающего водоносного горизонта, а по мере восхождения вод в озере они насыщаются сульфатами при растворении горных пород. При этом не исключается возможность разгрузки вышележащих водоносных горизонтов в виде локальных источников.

В ходе проведения работ были уточнены морфометрические параметры озера, а также установлена новая глубина Голубого озера – 279 м, что является новым географическим открытием. Установлены новая 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, также были предложены меры по охране уникального природного объекта.

Литература

1. Максимович Н.Г., Мещерякова О.Ю., Деменев А.Д. Комплексная экспедиция «Голубое Озеро – 2016» // Пещеры: сб. науч. тр. Пермь: ЕНИ ПГНИУ, 2016. Вып. 39. С. 157-159.
2. 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).
3. 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.
4. Гигинейшвили Г.Н., Гвахария В. К., Кандаки В. В., Маткава Д. И., Симокишвили Д.М. Чирик-Кель – глубочайшее карстовое озеро СССР // Известия Академии наук СССР. Серия Географическая. 1983. № 1.
5. Гигинейшвили Г.Н. Температурные скачки озера Чирик-Кель // Природа. 1982. № 2.
6. Гигинейшвили Г.Н. Карстовые воды Большого Кавказа и основные проблемы гидрологии карста. Тбилиси, 1979.