

УДК 504.455:504.4.054:504.064.36

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОЗЕРА КАРА-КЕЛЬ КАРАЧАЕВО-ЧЕРКЕССКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Дега Н.С., Онищенко В.В., Узденов У.Б.

ФГБОУ ВО «Карачаево-Черкесский государственный университет имени У.Д. Алиева»,
Карачаевск, e-mail: dega999@mail.ru

Целью данного исследования является комплексная эколого-географическая оценка озера Кара-Кель, расположенного в охранной зоне Тебердинского национального парка. При изучении озера Кара-Кель получен обширный материал стационарными и экспедиционными методами. Для гидрохимической оценки поверхностных вод озера использовались комплексные показатели качества воды: ИЗВ и УКИЗВ. Трофическая оценка водной экосистемы была проведена с помощью расчета ITS. В результате обследования озера и проведенного гидрохимического анализа воды дана комплексная оценка озерного ландшафта. Озеро имеет небольшие размеры, площадь зеркала составляет 2,7 га. Рельеф дна ровный, падение глубины идет равномерно, максимальная глубина достигает 9,0 м. Среднегодовое значение индекса загрязнения воды составило 0,91 и характеризовало поверхностную воду озера «чистая» – 2-го класса качества. В 2021 г. качество воды в озере характеризовалось 2-м классом – «слабо загрязненная», УКИЗВ равен 1,7. Критические показатели загрязненности воды не обнаружены. Концентрация пяти химических элементов в отобранной пробе превышала предельно допустимые значения. В озерной воде наблюдались умеренное количество растворенных питательных веществ, высокое содержание растворенного кислорода, слабая минерализация. За последние девять лет значительно улучшилось качество поверхностной воды озера. Концентрации алюминия, марганца, меди и нефтепродуктов в 2021 г. в озерной воде не превышали ПДК; а концентрация общих фенолов уменьшилась в 4,7 раза. Развитие туризма в сочетании с рациональным использованием водных объектов и проведением геоэкологического мониторинга – перспективное решение социально-экологических и природоохранных задач устойчивого развития Республики.

Ключевые слова: озеро, гидрохимия, индекс загрязнения водоема, трофическая оценка, геоэкологический мониторинг, рекреация

GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF LAKE KARA-KEL OF THE KARACHAY-CHERKESS REPUBLIC

Dega N.S., Onischenko V.V., Uzdenov U.B.

Umar Aliev Karachay-Cherkessia State University, Karachaevsk, e-mail: dega999@mail.ru

The purpose of this study is a comprehensive ecological and geographical assessment of Lake Kara-Kel, located in the protected zone of the Teberdinsky National Park. When studying Lake Kara-Kel, extensive material was obtained by stationary and expeditionary methods. Complex indicators of water quality were used for hydrochemical assessment of the lake surface waters. Trophic assessment of the aquatic ecosystem was performed using ITS calculation. As a result of the survey of the lake and the hydrochemical analysis of the water, a comprehensive assessment of the lake landscape was given. The lake has a small size, the mirror area is 2.7 hectares. The bottom relief is flat, the depth drop is uniform, the maximum depth reaches 9.0 meters. The average annual value of the water pollution index was 0.91 and characterized the surface water of the lake «clean» 2 quality classes. The specific combinatorial index of water pollution in the reporting year amounted to 1.7 and characterized water as “slightly contaminated” class 2. No critical contamination was observed. Exceeding the MAC was observed for 5 ingredients of the chemical composition. Lake Kara-Kel is characterized by a moderate amount of nutrients dissolved in water, a high content of dissolved oxygen, and weak mineralization. Over the past nine years, the quality of the surface water of the lake has significantly improved. Concentrations of aluminum, manganese, copper and petroleum products in lake water did not exceed the MAC; and the concentration of total phenols decreased by 4.7 times. The development of tourism in combination with the rational use of water bodies and the conduct of geoecological monitoring is a promising solution to the socio-ecological and environmental tasks of sustainable mining development of the republic.

Keywords: lake, hydrochemistry, reservoir pollution index, trophic assessment, geoecological monitoring, recreation

В бурно развивающейся туристско-рекреационной деятельности на территории Карачаево-Черкесской Республики (КЧР) горные озера становятся более популярными и востребованными. Озерные ландшафты подвергаются существенным антропогенным, хозяйственным и рекреационным нагрузкам и требуют организации комплексного мониторинга, направленного на сохранение уникальности и востребованности этих объектов [1, 2, 3].

В центре города Теберды, среди хвойно-лиственного парка на высоте 1300 м над уровнем моря расположено моренное озеро Кара-Кель. Небольшое живописное озеро лежит в пределах охранной зоны Тебердинского национального парка и является легкодоступным и массово посещаемым рекреационным объектом.

Научно-исследовательская лаборатория геоэкологического мониторинга Карачаево-Черкесского государственного универси-

тета имени У.Д. Алиева с 2012 г. проводит исследования эколого-географического состояния озерного ландшафта.

Цель исследования – дать комплексную эколого-географическую оценку озера Кара-Кель, расположенного в охранной зоне Тебердинского национального парка.

Материалы и методы исследования

В рамках экспедиционных исследований на озере Кара-Кель были проведены следующие работы: тахеометрическая и навигационная съемка береговой линии; глубинная съемка (4 профиля); химический анализ средней пробы поверхностной воды по 23 показателям.

Гидрохимический мониторинг поверхностных вод озера в 2021 г. осуществлялся на базе НИЛ геоэкологического мониторинга. Гидрохимическая оценка качества озерной воды включала расчет индекса загрязнения воды и удельного комбинаторного индекса загрязненности воды.

С 1986 г. Госкомгидрометом установлен индекс загрязнения воды (ИЗВ), расчет этого коэффициента дает комплексную оценку качества воды и является одним из наиболее распространенных комплексных показателей качества воды поверхностных вод. Для расчета ИЗВ мы использовали два обязательных компонента: биологическое потребление кислорода БПК₅, содержание растворенного кислорода – и четыре компонента, имеющих наибольшие значения превышения ПДК: общее железо, общие фенолы, аммонийный азот, соединения марганца. В зависимости от величины ИЗВ водные объекты подразделяют на семь классов качества воды [4].

В рамках метода комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям в пробе определялось 16 загрязняющих веществ (табл. 2). Наиболее информативными комплексными оценками, получаемыми по данному методу, являются удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ) и класс качества воды [5]. Расчет комбинаторного индекса загрязненности воды проводят в 2 этапа: сначала по каждому изучаемому ингредиенту и показателю загрязненности воды, затем рассматривается одновременно весь комплекс загрязняющих веществ и выводится результирующая оценка. Значение УКИЗВ может варьировать от 1 до 16. Большому значению индекса соответствует худшее качество воды. Классификация воды позволяет разделять

поверхностные воды на 5 классов в зависимости от степени их загрязненности [6].

Индекс трофического состояния ITS является наиболее информативным показателем трофической оценки водных экосистем, позволяет анализировать зависимость процессов эвтрофирования не только от нагрузок биогенами, поступающими от сточных вод и других антропогенных источников, но и от естественных природных факторов. ITS принимает следующие значения: в дистрофных экосистемах < 5,35–6,01; в ультраолиготрофных 6,02–6,67; в олиготрофных 6,68–7,34; в мезотрофных 7,35–8,00; в эвтрофных >8,01 [7, 8, 9].

Результаты исследования и их обсуждение

Более 10 000 лет назад в результате деятельности ледника, моренных отложений, интенсивной лавинной деятельности образовалось моренное запрудное озеро Кара-Кель. Природные условия среднегорной зоны, в которой расположено озеро, менее благоприятны для существования озерных водоемов. Природные условия способствуют интенсивному зарастанию озера водной растительностью, повышению общей минерализации и ухудшению качества воды. Реликтовое озеро относится к латеральным морено-запрудным водоемам, к подтипу аккумулятивных горных озер [10]. Форма озера – неправильный овал, площадь водоема более 0,02 км², размеры меняются в зависимости от водного уровня. В июле 2021 г. его длина составила 295 м, ширина – 145 м (рисунок). Оно бессточное, питание осуществляется за счет небольшого ручья, стекающего с хребта Кель-Баши, атмосферных осадков и ключей, бьющих со дна. Берега у озера не крутые.

Дно озера ровное, к северу отмечается сближение изобат. Увеличение глубины довольно равномерно идет к середине озера, и максимальные глубины достигают 9,0–10,0 м в зависимости от уровня воды.

Органолептические свойства поверхностной воды озера находились в пределах нормы. Сумма главных анионов составила 121,9 мг/л. Поверхностная вода озера пресная, суммарное содержание минеральных веществ составило 0,2 г/дм³. Вода в озере относится к классу мягкой воды, так как общая жесткость составила 2,25 ммоль/л эквивалента. Водородный показатель (pH) озерной воды составил 7,5 и характеризует природную воду как нейтральная (нормальная).

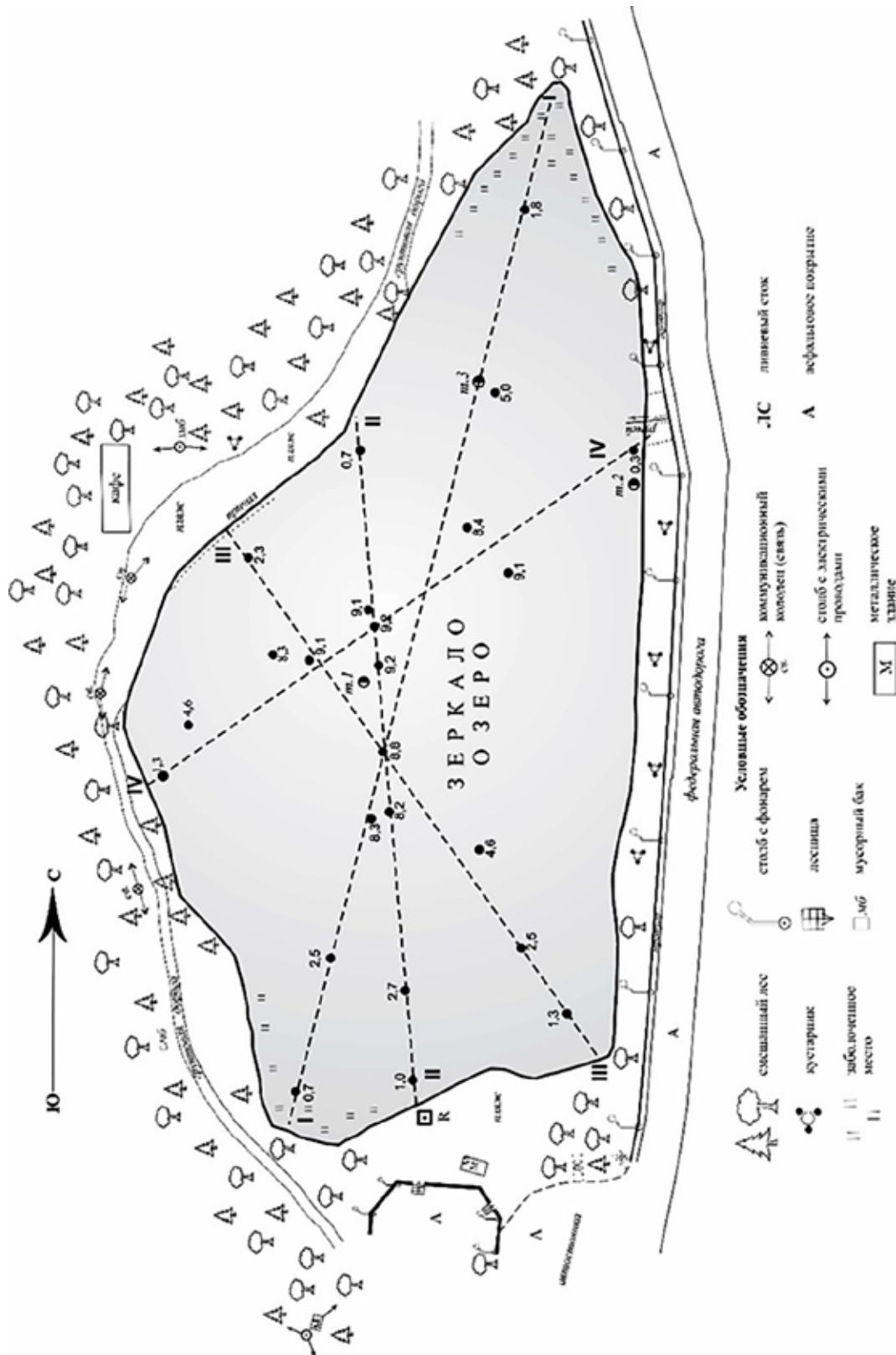


Схема озера Кара-Кель

Таблица 1

Расчет индексов загрязнения воды озера Кара-Кель в 2021 г.

Дата отбора пробы	Концентрации, мг/дм ³						ИЗВ
	Растворенный кислород	БПК ₅	Общее железо	Общие фенолы	Аммонийный азот	Марганец	
06.05.2021	10,2	1,4	0,03	0,0018	0,10	0,005	0,64
14.07.2021	9,1	2,4	0,30	0,0012	0,11	0,008	1,11
07.10.2021	6,0	0,7	0,20	0,0009	0,70	0,014	1,15
16.12.2021	12,0	1,8	0	0,0015	0,11	0,016	0,74
Ср. значения	9,3	1,6	0,13	0,0014	0,26	0,011	0,91

В 2021 г. на озере Кара-Кель отбирались средние пробы воды ежеквартально в основные гидрологические фазы. Наблюдения за химическим составом природной воды проводили по 16 ингредиентам.

Для всех сезонов года мы рассчитали индекс загрязнения воды [4] (табл. 1).

В течение года качество поверхностной воды 3 класса «умеренно загрязненная» зарегистрировано в летний и осенний периоды. Зимой и весной озерная вода характеризовалась 2-м классом «чистая». Среднегодовое значение ИЗВ составило 0,91 и попадает в градацию «от 0,2 до 1,0». В соответствии с этим поверхностная вода озера Кара-Кель по ИЗВ относится ко 2-му классу качества воды и характеризуется как «чистая».

Используя методику комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям [6], на первом этапе мы провели детальный покомпонентный анализ химического состава воды и его режима – оценочных составляющих. На втором этапе, используя полученные оценочные составляющие, дали оценку качеству воды.

Среднегодовой коэффициент комплексности загрязненности (К) составил 14,06%. В течение года он изменялся от 6,25 до 18,75. В соответствии с методическими указаниями [6] при комплексности $K \geq 10\%$ целесообразно применять метод комплексной оценки качества воды и рассчитывать удельный комбинаторный индекс загрязненности (табл. 2).

Из 16 химических ингредиентов отобранной пробы у 5 концентрации превышали нормы. Концентрации общих фенолов в течение 2021 г. изменялись от 0,0009 до 0,0018 мг/дм³, превышения ПДК отмечены в весенний, летний и зимний периоды, у соединений марганца превышения наблюдались осенью и зимой. Индекс частных оценочных баллов по повторяемости загрязнения у этих двух элементов был равен 4 и ха-

рактеризовал загрязненность воды этими ингредиентами как «характерная». Превышение ПДК аммонийного азота наблюдалась в осенний период биологического потребления кислорода летом. Частный оценочный балл по повторяемости в течение года составил 2,75 и носил «неустойчивый» характер. По остальным химическим элементам частный оценочный балл был равен 0.

В 2021 г. по каждому химическому ингредиенту определялся индекс уровня загрязненности воды. Значения частных оценочных баллов биохимического потребления кислорода, общих фенолов, аммонийного азота, соединений марганца носили низкий уровень загрязненности и изменялись от 1,2 до 1,5 (табл. 2). В поверхностной воде озера наблюдался средний уровень загрязнения общим железом. Частный оценочный балл составил 2,1, а превышения ПДК отмечены в летний и осенний периоды. Максимальные значения обобщенного оценочного балла зафиксированы для общего железа (8,24), минимальные – для биологического потребления кислорода (3,30). Критические показатели загрязненности этого водного объекта в 2021 г. не выявлены.

В результате комплексной оценки загрязненности комбинаторный индекс загрязнения воды составил 27,4, удельный комбинаторный индекс загрязненности – 1,7. Качество поверхностной воды можно охарактеризовать как «слабо загрязненная» 2-го класса.

В июле 2012 г. в рамках экспедиционных исследований была отобрана средняя проба воды в озере и выполнен ее химический анализ. Концентрации алюминия, марганца и меди в озерной воде превышали ПДК и соответственно составили 0,06 мг/л, 0,02 мг/л и 0,002 мг/л [11]. В июле 2021 г. превышения по этим элементам не обнаружены, наблюдалось увеличение общего железа в 3 раза, среднегодовое превышение составило 1,3 ПДК.

Таблица 2

Комплексная оценка степени загрязненности
поверхностной воды озера Кара-Кель в 2021 г.

Ингредиенты	Частный оценочный балл по повторяемости случаев загрязненности	Частный оценочный балл по кратности превышения ПДК	Обобщенный оценочный балл
Нефтепродукты	0	0	0
Общее железо	4	2,06	8,24
Общие фенолы	4	1,50	6,00
Химическое потребление кислорода	0	0	0
Растворенный кислород	0	0	0
Анионные поверхностно-активные вещества	0	0	0
Азот нитритный	0	0	0
Аммонийный азот	2,75	1,40	3,85
Нитратный азот	0	0	0
Сульфат-ион	0	0	0
Хлорид-ион	0	0	0
Биологическое потребление кислорода (5)	2,75	1,20	3,30
Соединения никеля	0	0	0
Соединения цинка	0	0	0
Соединения марганца	4	1,51	6,04
Соединения меди	0	0	0
Комбинаторный индекс загрязнения воды			27,43
Удельный комбинаторный индекс загрязнения воды			1,7

В 2012 г. наблюдалось превышение в озерной воде нефтепродуктов в 1,5 раза и общих фенолов в 5,7 раза. В июле 2021 г. в отобранной пробе воды нефтепродукты были в норме, концентрация общих фенолов превышала ПДК в 1,2 раза, это в 4,7 раза меньше, чем в 2012 г.

Ухудшение экологического состояния поверхностных вод водоема в 2012 г. нефтепродуктами, фенолами и тяжелыми металлами, по нашему мнению, связано с реконструкцией федеральной автодороги Черкесск – Домбай, непосредственно проходящей по береговой линии озера. Была уничтожена сформировавшаяся растительность в виде естественно отграничивающей дорогу от озера полосы (7–10 м), и появился уклон вновь выложенного асфальтового покрытия дороги в сторону озера, без водоотводного желоба, вдоль ограждающих конструкций автодороги [11]. В районе озера не было оборудованной автостоянки, машины оставляли на песчаном

пляже непосредственно у воды, что привело к дополнительному попаданию нефтепродуктов в озеро.

Через 9 лет растительный покров в районе автодороги восстановился, а почвенный покров и растительные сообщества обладают эффектами усвоения, задержания и разложения многих загрязняющих веществ. В районе водоема рекультивированы все отвалы, оборудована автостоянка, установлен шлагбаум, арендаторы регулярно в прибрежной зоне озера собирают и вывозят твердые коммунальные отходы (ТКО).

Для оценки эвтрофирования поверхностных вод озера мы рассчитали индекс трофического состояния ITS [7]. В качестве критерия трофического состояния водных экосистем мы использовали величину рН и насыщение воды кислородом. ITS озера Кара-Кель в 2021 г. составил 7,89 и характеризовал водоем как мезотрофный. Мезотрофные озера занимают промежуточное положение между эвтрофными и олиго-

трофными водоемами. Озеро Кара-Кель характеризуется умеренным количеством растворенных в воде питательных веществ, слабой температурной стратификацией. Содержание растворенного кислорода в течение года довольно высокое. Вода озера отличается слабой минерализацией, достаточно высокой прозрачностью. Цвет озерной воды зеленоватый. Озеро Кара-Кель отличается значительным развитием водной растительности. До 20% его прибрежной зоны покрыто зарослями урути (*Mugophyllum*) и плавающего рдеста (*Potamogeton lucens*). В озере можно встретить диатомовые, перидиниевые, нитчатые водоросли и вольвоксы [12].

Заключение

В 2021 г. гидрохимическая структура поверхностной воды озера Кара-Кель характеризовалась 2-м классом – «слабо загрязненная». К основным загрязнителям воды в этот период можно отнести: общее железо, общие фенолы, аммонийный азот, соединения марганца.

За девятилетний период наблюдалось сокращение влияния антропогенного фактора на озерный ландшафт, что нашло отражение в повышении качества поверхностных вод и нормализации естественного природного режима функционирования водной экосистемы.

Индекс трофического состояния озера в 2021 г. составил 7,89, наличие органических вкраплений и водорослей характеризует озеро как мезотрофный.

Геоэкологический мониторинг озера Кара-Кель позволяет контролировать экологическое состояние водоема, управлять природно-антропогенными процессами и сохранять уникальный водный объект региона.

Список литературы

1. Онищенко В.В., Дега Н.С., Корчагина Н.М. Принципы и перспективы организации интегрированного природопользования в устойчивом развитии Карачаево-Черкесии // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2017. Т. 11. № 2. С. 100-108.
2. Дега Н.С., Онищенко В.В. Высокогорные озера – перспективный рекреационный продукт Карачаево-Черкесии // Устойчивое развитие горных территорий. 2014. №1 (19). С. 68-74.
3. Аджиева М.М. География Карачаево-Черкесской Республики. Карачаевск: КЧГУ, 2017. 252 с.
4. Гагарина О.В. Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы. Ижевск: Издательство «Удмуртский университет», 2012. 199 с.
5. Дега Н.С., Байрамукова Ф.С., Борлаков М.С. Методологические основы гидрохимического мониторинга водного бассейна р. Кубани на территории Карачаево-Черкесской Республики // Инновационная наука. 2015. Ч. 2. Вып. 4. С. 169-172.
6. Емельянова В.П., Лобченко Е.Е. РД 52.24.643-2002 Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. М., 2004. 20 с.
7. Неверова-Дзиопак Е., Цветкова Л. И. Оценка трофического состояния поверхностных вод. СПб.: СПбГАСУ, 2020. 176 с.
8. Неверова-Дзиопак Е. Охрана поверхностных вод от антропогенного эвтрофирования. Теоретические, методологические и инженерные аспекты. Berlin: Lambert Academic Publishing, 2012. 322 с.
9. Аралина М.А., Строганова М.С. Расчет интегральных показателей ИЗВ и ITS для отдельных водных объектов: материалы XX Международного и межрегионального БИОС-ФОРУМА. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук, 2015. С. 87-91.
10. Ефремов Ю.В., Салпагаров Д.С. Озера Тебердинского заповедника и сопредельных территорий // Труды Тебердинского государственного природного биосферного заповедника. Ставрополь: Кавказский край, 2001. Вып. 24. 112 с.
11. Дега Н.С., Байчоров А.К., Хубиев Р.Р. Современная геоэкологическая оценка горных озер ООПТ Карачаево-Черкесии // Новая наука от идеи к результату: материалы Международной научно-практической конференции (29.12.2015 г.). Стерлитамак: РИЦ АМИ, 2015. С. 17-22.
12. Ефремов Ю.В., Базелюк А.А., Панов В.Д. Антропогенное воздействие на озера Северного Кавказа // География и природные ресурсы. 2012. № 1. С. 51-56.