

ГИДРОГЕОЛОГИЯ

УДК 556.314

Современный химический состав вод озер Мазуевской карстовой депрессии**И.А. Крутик, Ю.А. Килин**

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Пермь, ул. Букирева, 15

E-mail: krutik-i@bk.ru, yuakilin@mail.ru*(Статья поступила в редакцию 23 января 2018 г.)*

Проведен анализ современного гидрохимического состояния вод Мазуевской карстовой депрессии, расположенной в Кишертско-Суксунском карстовом районе. Район является зоной разгрузки карстовых вод Уфимского вала (брахиантиклинали). Полученные данные позволяют проследить изменения химического состава карстовых озер во времени, а также дополнить гидрохимическую модель этого района.

Ключевые слова: *карст, карстовые озера, химический состав.*

DOI: 10.17072/psu.geol.17.3.245

Введение

Карстовые озера - уникальные водные объекты, отличающиеся от других генетических типов озер большим разнообразием условий питания и стока, морфометрическими и генетическими характеристиками озерных котловин, водным и гидрохимическим режимом. Эволюция их протекает достаточно быстро, часто рядом располагаются озера на различных стадиях развития, что позволяет охарактеризовать процессы формирования озерных котловин и химического состава их вод.

Согласно карстологическому районированию, Мазуевская карстовая депрессия является частью Кишертского (Кишертско-Суксунского) района преимущественно гипсового и карбонатно-гипсового карста, включает в себя карстовую р. Мазуевку и Мазуевскую озерную депрессию. Депрессия протягивается с северо-запада на юго-восток почти на три километра и имеет ширину около 400 м. В районе Мазуевской депрессии насчитывается большое количество карстово-спелеологических объектов. Впервые депрессия обследована В.А. Варсанофьевой в 1911 г. Кафедра динамической геологии и гидро-

геологии Пермского государственного университета изучает депрессию с 1957 г. Последние обследования проводились в 2014 и 2017 гг. Схема отбора проб представлена на рис. 1.

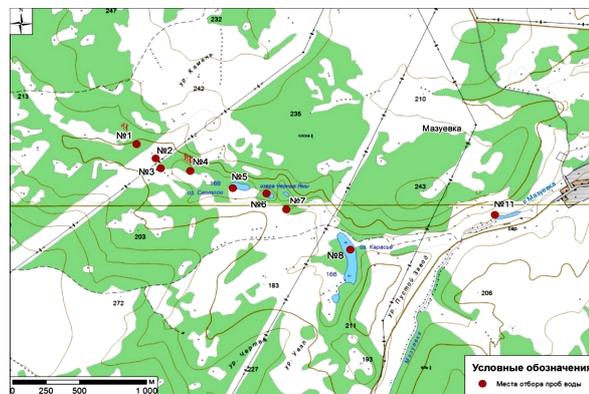


Рис. 1. *Схема отробования озер Мазуевской депрессии*

Геологические, гидрогеологические и карстологические условия территории

Кишертско-Суксунский карстовый район расположен в зоне сочленения Уфимского вала и Юрюзано-Сылвенской депрессии (Горбунова, 1965; Горбунова и др., 1992).

Мазуевская озерная карстовая депрессия образовалась на восточном крыле Уфимского вала за счет выщелачивания

сульфатных отложений (гипсов и ангидритов) поповской свиты и частично филипповского горизонта кунгурского яруса пермской системы. Формирование депрессии продолжается в настоящее время, об этом свидетельствуют свежие провалы.

Исходя из особенностей геологического строения, в пределах Мазуевской депрессии выделяются следующие подразделения:

- сульфатно-карбонатные отложения кунгурского яруса (P_1kg);
- терригенные породы соликамской свиты уфимского яруса – ($P_2u sl$),
- карстово-обвальные (N-Q) и элювиально-делювиальные отложения (edQ).

Кунгурский ярус сложен мергелями, доломитизированными мергелями, глинами, глинистыми известняками, песчаниками с прослоями и линзами гипса и ангидрита. В терригенном комплексе уфимской свиты распространены мергели с прослоями алевролитов, аргиллиты с прослоями песчаников. Карстово-обвальные и элювиально-делювиальные отложения представлены глиной щебнистой с прослоями суглинка щебнистого.

Исследуемая территория расположена в зоне разгрузки карстовых вод Уфимского вала. Воды, сформированные в его пределах, образуют единый водоносный горизонт пресных, гидрокарбонатно-кальциевых вод. Сток подземных вод сконцентрирован в наиболее закарстованных и трещиноватых зонах, а также по литологическим контактам пород. Разгрузка вод горизонтальной и сифонной циркуляции Уфимского вала осуществляется в виде нисходящих и восходящих источников, фильтрации в аллювий и карстовые брекчии, а также в выветрелые гипсы, что создает условия для образования сульфатно-кальциевых вод с минерализацией до 3 г/дм^3 .

В районе преобладают закрытый и подаллювиальный типы карста, который характеризуется разнообразными формами проявления. Мазуевский участок относится ко второй стадии развития гипсового карста – это озерная депрессия с сульфатными источниками. Морфометрические параметры озерных котловин представлены в табл. 1.

Таблица 1. Морфометрические характеристики озерных котловин

Номер озера (название)	Форма в плане	Морфометрические характеристики, м			Примечание
		длина	ширина	глубина	
№1	круг	34,0	34,0	4,0	Озеро в карстовом чашеобразном понижении. Борта умеренно пологие, заросли кустарником
№2	эллипс	30,0	60,0	0,8	Карстовое озеро в блюдцеобразном понижении. Борта пологие, дно плоское
№3	круг	30,0	30,0	0,5	Карстовое озеро в блюдцеобразном понижении. Борта заросли кустарником, сглаженные, дно плоское
№4	круг	50,0	50,0	1,5-2	Озеро в карстовом чашеобразном понижении. К.А. Горбуновой (1957 г.) отмечено как озеро Малое
№5	эллипс	215,0	80,0	6,0	Озеро в карстовом чашеобразном понижении. К.А. Горбуновой в 1958 г. отмечено как озеро Большое. В 2014 г. экспедицией кафедры отмечено как Светлое
№6 (Черная Яма)	овал	60,0	50,0	4,5	Дно плоское, северный и северо-восточный склоны крутые, южный – пологий
№7 (Озеро со сплавиной)	круг	65,0	65,0	-	Озеро затянута сплавиной, заросло молодым лесом
№8 (Карасье)		400	до 110	4,5	Озеро полностью затянута сплавиной, открытые участки имеются у северо-западного и частично восточного берега

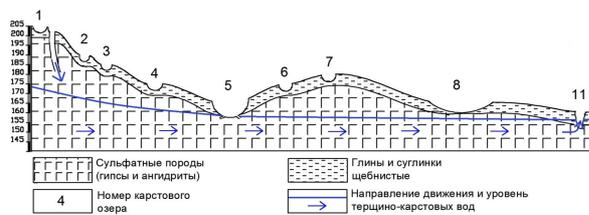


Рис. 2. Схема движения подземных вод и расположения карстовых озер

Депрессия протягивается с северо-запада на юго-восток почти на три километра и имеет ширину около 400 м. В ней развиты такие поверхностные формы карста, как воронки, карстовые озера, поноры, восходящий сульфатный источник.

Сток подземных вод внутри депрессии направлен с северо-запада от зоны поглощения к зоне восходящей сифонной разгрузки в долине р. Мазуевка, являющейся притоком основной дрены – р. Сылвы (рис. 2).

По гидрологической классификации р.Сылва относится к транзитным нейтральным рекам. Соотношение дождевого и подземного питания 85 и 15% соответственно (без учета талых вод) (Максимович, 1969). Пересекая различные районы и участки, сложенные карстующимися сульфатными и карбонатными породами, р. Сылва имеет сбалансированное и стабильное содержание основных макрокомпонентов, что позволяет использовать химический состав речных вод как «эталон» для определения преобладающего источника питания (атмосферного, поверхностного, подземного) для различных водопроявлений района (Катаев, 2017). Химический состав и минерализация р.Сылва по результатам опробования в 2014 г. выше и ниже впадения р. Мазуевка следующие: минерализация 332 и 379 мг/дм³ соответственно, содержание HCO_3^- – 180 и 210 мг/дм³, SO_4^{2-} – 103 и 131 мг/дм³, Ca^{2+} – 80 и 93 мг/дм³.

Характеристика вод покровных отложений

Верховодка и грунтовые воды в тонких проницаемых прослоях на водоразделах и их склонах формируются только в корот-

кие периоды интенсивного снеготаяния и при продолжительных обильных ливнях. По фондовым данным воды верховодки гидрокарбонатно-кальциевые, магниевые, с минерализацией от 0,1 до 1,0 г/л. Глубина залегания верховодки в д. Мазуевка, выявленная скважинами и колодцами, колеблется от 0,2 до 7,0 м, чаще всего составляет 1-3 м.

Характеристика вод коренных отложений

Высокая водообильность закарстованных пород поповской свиты объясняется благоприятными условиями питания подземных вод за счет инфильтрации и инфлюации атмосферных осадков через трещины, поноры и воронки. Коэффициент фильтрации достигает 100-200 м/сут.

Химический состав подземных вод *кунгурской карбонатно-сульфатно-терригенной* свиты характеризуется разнообразием и пестротой. По анионному составу выше вреза эрозионной сети формируются гидрокарбонатные, гидрокарбонатно-сульфатные, сульфатно-гидрокарбонатные, реже сульфатные воды с различным сочетанием катионов. Ниже уровня местных дрен получили развитие сульфатные, сульфатно-хлоридные и хлоридные воды. Режим подземных вод свиты тесно связан с выпадением атмосферных осадков, амплитуда колебания УГВ не превышает 3-4м (Кишин и др., 2015).

Химический состав озерных вод

По результатам экспедиции кафедры в 2014 и 2017 гг. было опробовано восемь карстовых озер, а также восходящий сульфатный карстовый источник подземных вод. Опробование проводилось с целью выявления изменений в химическом составе вод. Пробы отбирались как с поверхности озер, так и с глубины (о. Карасье). Химический состав озерных вод определяется тремя гидрохимическими фациями: гидрокарбонатно-кальциевой, гидрокарбонатно-кальциево-сульфатной и сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевой (Крутик, 2016). Сравнение данных о современном фациальном составе с данными прошлых лет приведено в табл. 2.

Таблица 2. Фациальный состав озерных вод Мазуевской депрессии (по Г.А. Максимовичу)

Год	Источник	Номер и название озера							
		№1	№2	№3	№4	№5 Большое/ Светлое	№6 Черные ямы	№7 Озеро со сплавниной	№8 Карасье
1958	Максимо- вич, 1969	-	-	-	-	SO ₄ ²⁻ -Ca ²⁺ - HCO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻ - Ca ²⁺ -Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻ - Na ⁺ - Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻ - SO ₄ ²⁻ -Ca ²⁺
1969	Яценко, 1973	-	-	-	-	SO ₄ ²⁻ -Ca ²⁺ - HCO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻ - Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻ -Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻ -Ca ²⁺
2006	фонды	HCO ₃ ⁻ -Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻ - SO ₄ ²⁻ - Na ⁺ - Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻ - SO ₄ ²⁻ - Ca ²⁺	-	-	-	-	-
2007	фонды	HCO ₃ ⁻ -Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻ - Ca ²⁺ - Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻ - Ca ²⁺ - Na ⁺	-	SO ₄ ²⁻ - HCO ₃ ⁻ -Ca ²⁺	-	-	-
2008	фонды	HCO ₃ ⁻ -Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻ - Ca ²⁺ (Na ⁺)	-	-	HCO ₃ ⁻ -SO ₄ ²⁻ - Ca ²⁺	-	-	-
2009	фонды	HCO ₃ ⁻ - Ca ²⁺ - SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻ - Ca ²⁺ (Na ⁺)	HCO ₃ ⁻ - SO ₄ ²⁻ - Na ⁺	-	HCO ₃ ⁻ - SO ₄ ²⁻ - Ca ²⁺	-	-	-
2010	фонды	HCO ₃ ⁻ - Ca ²⁺ -Na ⁺	HCO ₃ ⁻ - Ca ²⁺ (Na ⁺)	-	-	-	-	-	-
2014	фонды кафедры	HCO ₃ ⁻ -Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻ - Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻ - Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻ - Ca ²⁺ - SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ -Ca ²⁺ - HCO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻ - Ca ²⁺ - SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻ -Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻ -Ca ²⁺
2017	фонды кафедры	HCO ₃ ⁻ -Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻ - Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻ - Ca ²⁺	-	SO ₄ ²⁻ -Ca ²⁺ - HCO ₃ ⁻	-	HCO ₃ ⁻ -Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻ -Ca ²⁺

По генетической классификации (Максимович, 1969) на исследуемой территории выделены два типа озер – карстовые озера зоны вертикальной нисходящей циркуляции, озера зоны горизонтальной циркуляции карстовых вод.

По характеру питания (Катаев, 2000) все исследованные озера относятся к двум типам: озера-воронки поверхностного питания, озера-воронки со смешанным питанием.

Карстовые озера зоны вертикальной нисходящей циркуляции (область поглощения) формируются в коррозионных и коррозионно-суффозионных воронках и котловинах, днища которых находятся выше уровня карстовых вод.

Постепенно гидродинамическая связь с горизонтом карстовых вод исчезает в результате кольтматации трещин и поноров на дне озерной котловины, и она заполняется талыми, дождевыми и отчасти грунтовыми водами. По условиям питания такие озера относятся к типу озера-воронки

поверхностного питания и характеризуются содержанием основных анионов и катионов в следующих диапазонах значений: HCO₃⁻ (50–180 мг/дм³), SO₄²⁻ (1–160 мг/дм³), Ca (25–70 мг/дм³) и низкой минерализацией (150–350 мг/дм³) (Катаев, 2017).

Карстовые озера-воронки поверхностного питания водами атмосферных осадков и поверхностного стока

Озеро №3 (период исследований 2006–2017) – воды от ультрапресных до пресных, с 2006 г. минерализация уменьшается, в 2010 г. озеро полностью пересохло, а в последующие годы наблюдается очень низкая минерализация – 97–113 мг/дм³, что говорит о преимущественном питании талыми и дождевыми водами.

Озеро №4 (период исследований 2014). Воды озера пресные, в химическом составе преобладают гидрокарбонат-ионы и катионы кальция.

Озеро №6 (Черные ямы) (период исследований 1958, 1969, 2014) – воды от ультрапресных до пресных, с преоблада-

нием гидрокарбонат-ионов и катионов кальция.

Озеро №7 (Озеро со сплавиной) (период исследований 1958, 1969, 2014, 2017) – воды от ультрапресных до пресных, в 2017 г. зафиксирована минерализация 74 мг/дм³, а в предыдущие годы она составляла не менее 170 мг/дм³.

Озеро №8 (Карасье) (период исследований 1958, 1969, 2014, 2017) – самое большое озеро депрессии. Является геологическим памятником природы, входит в список ООПТ регионального значения. Расположено в юго-восточной части, замыкая собой цепочку озер. Практически полностью затянута сплавиной. В 2014 г. проведено опробование в южной оконечности озера на открытом участке воды с трех глубин – 1,5; 2 и 4,5 м, изменений химического состава с глубиной не зафиксировано. Воды за весь период опробования ультрапресные, с преобладанием гидрокарбонат-ионов и катионов кальция.

Среднее содержание Mg²⁺ для всех озер этого типа 12,8 (5,1-46,2) мг/дм³, Cl⁻ – 6,5 (0,5-10) мг/дм³.

Стоит отметить, что высокое содержание катионов натрия и калия характерно для периода с 2006 по 2010 г., а в последние годы не превышает 5 мг/дм³. Повышенное содержание Mg²⁺ встречается спорадически.

Карстовые озера зоны горизонтальной циркуляции карстовых вод (область подземного стока) формируются в воронках и котловинах различного генезиса, представляют собой гидрогеологические окна. Дно этих озер вскрывает горизонт подземных карстовых вод. В таких условиях основное питание озер осуществляется за счет подземных и грунтовых вод, в меньшей степени за счет атмосферных осадков. Химический состав озер определяется характером доминирующего питания. Так для озер с преобладающим питанием водами покровных отложений характерны следующие диапазоны содержаний основных анионов и катионов: HCO₃⁻ (250–600 мг/дм³), SO₄²⁻ (1–150 мг/дм³), минерализация от 350 до 1100 мг/дм³. Для озер с

доминирующим питанием водами коренных карстующихся сульфатных отложений характерно преобладание SO₄²⁻ (300–700 мг/дм³) при невысоком содержании HCO₃⁻ (50–150 мг/дм³) (Катаев, 2017).

Карстовые озера-воронки смешанного питания с доминирующим питанием водами покровных отложений

Озеро №1 – за весь период исследований (2006-2017) воды пресные, в химическом составе преобладают гидрокарбонат-ионы и катионы кальция.

Озеро №2 (период исследований 2006-2017) – воды от пресных до пресных с относительно повышенной минерализацией. В 2007 г. зафиксирована наибольшая минерализация за весь период наблюдений – 1012 мг/дм³ (в остальные годы не более 630 мг/дм³) за счет гидрокарбонат-ионов (750 мг/дм³) и катионов кальция (152 мг/дм³).

Озера-воронки с доминирующим питанием водами коренных карстующихся сульфатных отложений

Озеро №5 (Большое/Светлое) на протяжении всего периода исследований (1958, 1969, 2007-2009, 2014, 2017) имеет относительно стабильный химический состав, гидрохимическая фация определяется сульфат-ионами, гидрокарбонат-ионами и катионами кальция. Однако в 2008–2009 гг. зафиксировано снижение содержания сульфат-ионов и катионов кальция, в результате чего произошла смена формации с сульфатной на гидрокарбонатную.

Источники зоны горизонтальной циркуляции разгружаются в аллювий речных долин или подрусловые пустоты.

Родниковая яма с грифонами (№11) Относится к типу расширенных устьев восходящих карстовых источников, питающихся напорными пластовыми водами (Горбунова, 1968). Расположена в пойме р. Мазуевка, западнее оз. Карасье. Воды родника солоноватые, с сульфатно-кальциевой фацией. Содержание основных компонентов за 2014-2017 гг. колеблется в следующих пределах: HCO₃⁻ – 284–311 мг/дм³, SO₄²⁻ – 939-1032 мг/дм³,

Ca^{2+} – 404–449 мг/дм³, $\text{Na}+\text{K}$ – 1–4,5 мг-экв/дм³, водородный показатель – 7,3 мг/дм³, Mg^{2+} – 29–35 мг/дм³. Минерализация – 1669–1695 мг/дм³, жёсткость – 25,3 мг-экв/дм³. Содержание основных макрокомпонентов представлено в табл. 3.

Таблица 3. Содержание основных макрокомпонентов в озерных водах Мазуевской депрессии

Озеро	Среднее содержание основных анионов и катионов (Min-Max значение), мг/дм ³			
	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Минерализация
<i>Карстовые озера-воронки поверхностного питания водами атмосферных осадков и поверхностного стока</i>				
№3	146 (70–220)	46 (1–120)	35 (18–84)	267 (97–468)
№4	285	165	49	58
№6	159 (134–183)	8,5 (1–16)	40 (28–53)	226 (200–264)
№7	124 (54–172)	3,5 (0,7–9)	27 (16–45)	165 (74–229)
№8	109 (85–140)	17 (1–33)	25 (16–32)	167 (143–180)
<i>Карстовые озера-воронки смешанного питания с доминирующим питанием водами покровных отложений</i>				
№1	316 (268–366)	15,5 (1,2–52)	67 (54–82)	449 (386–531)
№2	390 (262–750)	27 (0,6–115)	81 (60–152)	562 (368–1012)
<i>Озера-воронки с доминирующим питанием водами коренных карстующихся сульфатных отложений</i>				
№5	221 (119–373)	360 (110–778)	181 (60–435)	813 (514–1600)

Выводы

Таким образом, по результатам исследований воды озерных котловин Мазуевской депрессии характеризуются двумя гидрохимическими формациями – гидрокарбонатной и сульфатной. Формационный состав на протяжении всего периода наблюдений практически не изменялся.

Фациальный состав вод более изменчив, он находится в прямой зависимости от количественного содержания основных компонентов – HCO_3^- , SO_4^{2-} и Ca^{2+} , а также связан с эпизодическим увеличением таких элементов, как Mg^{2+} и $\text{Na}+\text{K}$. Это в основном обусловлено эволюцией озерных котловин, дно которых со временем заполняется осадками, происходит кольматация придонных трещин, в результате чего уменьшается подток карстовых вод и усиливается влияние состава атмосферных осадков и сезонных вод поверхностного стока. Кроме того, фациальная изменчивость может быть связана с годовым ходом осадков в регионе, уменьшение которых способствует снижению уровня подземных вод и, как следствие, – сокращению их доли в питании озер.

Полученные данные позволили уточнить характер питания озер, а также до-

полнить гидрохимическую модель указанного района.

Кроме того, авторами были исследованы ранее не изученные озера в северо-западной части депрессии, что позволило более полно охарактеризовать химизм и морфологию карстовых озер.

Библиографический список

- Горбунова К.А. Особенности гипсового карста: путеводитель по Кишертско-Суксунскому карстовому району. Пермь, 1965. 119с.
- Горбунова К.А. Гидрогеологическая классификация карстовых озер // Карст Урала и Приуралья. Пермь, 1968.
- Горбунова К.А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г. Карст и пещеры Пермской области. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1992. 200 с.
- Катаев В.Н. Гидрогеологические условия Красноясыльского полигона: типы вод, водопроявления и их химизм // Гидрогеология и карстование: межвуз. сб. науч. тр. / Перм. гос. ун-т. Пермь, 2000. Вып. 13. С. 127-136.
- Катаев В.Н. Современный химический состав вод озер зоны сочленения Уфимского вала и Предуральяского прогиба // Вестник Пермского университета. Геология. 2017. Т. 16, вып 3. С. 332-346.
- Килин Ю.А., Минкевич И.И., Клецкина О.В. Кишертский карстовый район – зона раз-

- грузки карстовых вод // Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах: матер. Междунар. симпозиума / Перм. гос. ун-т. Пермь, 2015. С. 312-316.
- Крутик И.А.* Фациальный состав озерных вод Мазуевской карстовой депрессии // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: сб. ст. юбил. конф., посвящ. 100-летию Перм. ун-та и 85-летию геол. ф-та/ Перм. гос. ун-т. Пермь, 2016. С. 159-161.
- Максимович Г.А.* Основы карстоведения. Т.2: Вопросы гидрогеологии карста, реки и озера карстовых районов, карст мела, гидротермокарст: учеб. пособие / Геогр. о-во СССР; Ин-т карстоведения и спелеологии; Перм. гос. ун-т. Пермь, 1969. 529 с.
- Яценко Р. В.* Генезис котловин и химическая география карстовых озер равнинной части Пермской области : дис... канд. геогр. наук / Перм. гос. ун-т. Пермь, 1973. Т. 1. 280 с.

The Modern Chemical Composition of the Waters of the Lakes at the Mazuevskaya Karst Depression

I.A. Krutik, Yu.A. Kilin

Perm State University, 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia

E-mail: krutik-i@bk.ru, yuakilin@mail.ru

An analysis of the current hydrochemical state of the waters of the Mazuevskaya karst depression located in the Kusherstko-Suksunskiy karst region was carried out. The area is a zone of discharge of karst waters of the Ufimskiy Swell (brachiantikline). The obtained data provided an opportunity to trace changes in the chemical composition of karst lakes in time, as well as to supplement the hydrochemical model of this region.

Key words: *karst; karst lake; chemical composition.*

References

- Gorbunova K.A.* 1965. Osobennosti gipsovogo karsta: putevoditel po Kishertsko-Suksunskomu karstovomu rayonu [Gypsum karst features: guide of Kishert-Suksunskiy karst region]. Perm, p. 119. (in Russian)
- Gorbunova K.A.* 1968. Gidrogeologicheskaya klassifikatsiya karstovykh ozer [Hydrogeological classification of karst lakes]. In *Karst Urala i Priuralya*. Perm. (in Russian)
- Gorbunova K.A., Andreychuk V.N., Kostarev V.P., Maksimovich N.G.* 1992. Karst i peshchery Permskoy oblasti [Karst and caves of the Perm region]. PSU, Perm, p. 200. (in Russian)
- Kataev V.N.* 2000. Gidrogeologicheskie usloviya Krasnoyasylskogo poligona: tipy vod, vodoproyavleniya i ikh khimizm [Hydrogeological conditions of Krasnoyasylskiy area: water types, water occurrences, and their chemistry]. *Gidrogeologiya i karstovedenie*. 13: 127-136. (in Russian)
- Kataev V.N.* 2017. Sovremennyy khimicheskiy sostav vod ozer zony sochleneniya Ufimskogo vala i Preduralskogo progiba [The contemporary chemical composition of the lakes waters at zone of juncture of the Ufimian Swell and Pre-Urals Foredeep]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya*. 16(4): 340-353. (in Russian)
- Kilin Yu.A., Minkevich I.I., Kletschina O.V.* 2015. Kishertskiy karstovyy rayon – zona razgruzki karstovykh vod [Kishertskiy karst region – zone of karst water discharge]. In *Ekologicheskaya bezopasnost i stroitelstvo v karstovykh rayonakh*. PSU, Perm, pp. 312-316. (in Russian)
- Krutik I.A.* 2016. Fatsialnyy sostav ozernykh vod mazuevskoy karstovoy depressii [Facies composition of lake waters of the Mazuevskaya karst depression]. In *Geologiya i poleznye iskopaemye Zapadnogo Urala*. PSU. Perm, pp. 159-161. (in Russian)
- Maksimovich G.A.* 1969. Osnovy karstovedeniya. T.2: Voprosy gidrogeologii karsta, reki i ozera karstovykh rayonov, karst mela, gidrotermokarst [Fundamentals of ... T.2. Problems of karst hydrogeology, rivers and lakes of karst regions, chalk karst, and hydrothermocarst]. PSU, p. 529. (in Russian)
- Yashchenko R.V.* 1973. Genезis kotlovin i khimicheskaya geografiya karstovykh ozer ravninnoy chasti Permskoy oblasti [Genesis of depressions and chemical geography of karst lakes of the Perm region plain areas]. Dis. kand. geogr. nauk. PSU, Perm, p. 280. (in Russian)