

## Геохимическая характеристика озера Чваниха, памятника природы Кировской области

© 2024. О. А. Липатникова<sup>1</sup>, к. г.-м. н., н. с.,

Т. Н. Лубкова<sup>1</sup>, к. г.-м. н., с. н. с.,

О. В. Солодянкина<sup>2</sup>, директор музея,

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12,

<sup>2</sup>Нолинский музей истории и краеведения,  
613440, Россия, г. Нолинск, ул. Ленина, д. 30,

e-mail: lipatnikova\_oa@mail.ru

В статье представлена характеристика абиотических (вода и донные отложения) компонентов карстового озера Чваниха, расположенного в Нолинском районе Кировской области и являющегося гидрологическим памятником природы регионального значения. Геохимическая характеристика абиотических компонентов получена с использованием комплекса современных инструментальных методов анализа вещества (ИСП–МС, РФА–ЭД, спектрофотометрия, потенциометрия и др.) и термодинамических расчётов (пакет программы Visual-MINTEQ, версия 3.1). Состав вод косвенно свидетельствует о развитии карбонатного карста (преимущественно растворение доломита) в верхних толщах пород в основании озёрной котловины и наличии незначительных прослоев гипса на глубине. Содержание микрокомпонентов в воде озера не превышает ПДК химических веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения и в целом соответствует средним содержаниям в реках мира. Преимущественной формой нахождения большинства микроэлементов в растворе являются свободные ионы (для Sr, Ba, Fe, Mn, Zn, Ni, Co, Cd) и карбонатные комплексы (для Cu и Pb). Донные отложения озера представлены тонкодисперсными кварцевыми песками, мощной толщей перекрывающими карстующиеся породы. Низкая степень ожелезнения песков определяет в условиях отсутствия значимой техногенной нагрузки невысокие, типичные для кварцевых песков, содержания потенциальных загрязнителей (Cu, Zn, Pb, Cd, As, Mo, Ni, Cr, V).

**Ключевые слова:** озеро Чваниха, карстовые провалы, макрокомпонентный состав воды, микроэлементы, термодинамические расчёты, донные отложения.

## Geochemical characteristics of the Lake Chvanikha, the natural monument of the Kirov region

© 2024. O. A. Lipatnikova<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-2412-3561<sup>\*</sup>

T. N. Lubkova<sup>1</sup> ORCID: 0000-0003-1953-6334<sup>\*</sup>

O. V. Solodyankina<sup>2</sup> ORCID: 0000-0003-4887-1000<sup>\*</sup>

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University,

1, Leninskiye Gory, Moscow, Russia, 119991,

<sup>2</sup>Nolinsky Museum of History and Local Lore,

30, Lenina St., Nolinsk, Russia, 613440,

e-mail: lipatnikova\_oa@mail.ru

The article presents characteristics of the abiotic components (water and bottom sediments) of the karst Lake Chvanikha. The lake is located in the Nolinsky district of the Kirov region and has the status of the hydrological natural monument of regional significance. The results are based on precision analytic data (obtained by ICP-MS, X-ray fluorescence analysis, chemical methods, photometry, etc.) and on thermodynamic calculations (Visual-MINTEQ, ver. 3.1). The composition of the waters indirectly indicates to the development of carbonate karst (mainly the dissolution of dolomite) in the upper rock strata at the base of the lake basin and to the presence of minor gypsum interlayers at depth. The concentrations of dissolved forms of trace elements do not exceed the MPCs of harmful substances in the waters of fishery basins and generally corresponds to the average contents in the rivers of the world. The base forms of trace

elements in water are their free ions (for Sr, Ba, Fe, Mn, Zn, Ni, Co, Cd) and carbonate complexes (for Pb and Cu). The bottom sediments are represented of fine quartz sands, which overlap the karst rocks. In the absence of a significant technogenic impact, the poor grade of sand's ferruginization determines low contents of potential pollutants (Cu, Zn, Pb, Cd, As, Mo, Ni, Cr, V), typical for quartz sands.

**Keywords:** Lake Chvanikha, karst sinkholes, macrocomponent composition of water, trace elements, thermodynamic calculations, bottom sediments.

В настоящее время на территории Кировской области выделяют более 180 особо охраняемых природных территорий (ООПТ) [1]. Сохранение интразональной растительности, животного населения и отдельных видов в значительной степени обеспечивают государственный природный заповедник «Нургуш» (Котельничский район) [2], а также памятники природы «Медведский бор» (Нолинский район), «Пилинский лог» (Уржумский район) и другие ООПТ [3, 4].

В 2006 г. Управлением охраны окружающей природной среды и природопользования Кировской области был выпущен целый сборник статей, посвящённых Медведскому бору [5]. Этот памятник природы рассматривается как пример эталонного объекта для изучения дюнно-карстовых ландшафтов [6] и хвойной растительности [7]. В конце 2018 г. в результате сотрудничества администрации г. Нолинска, НКО Фонд «Возрождение» (г. Нолинск), ООО «Нолинская лесопромышленная компания», МБУК «Музей истории и краеведения» г. Нолинска и специалистов Центра компетенций «Использование биологических ресурсов» ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет» г. Кирова был разработан проект по созданию экологической тропы в Медведском бору – «Жемчужина в ожерелье». Он поддержан грантом Президента РФ на развитие гражданского общества и предоставлен Фондом президентских грантов [8]. Озеро Чваниха, расположенное в 5 км к северо-востоку от п. Медведок, – одна из ключевых остановок на этой тропе и основных достопримечательностей Медведского бора. Это большой водоём, который, в свою очередь, согласно [1], является гидрологическим памятником природы регионального значения и представляет собой цепь из 22 карстовых провалов и 3 карстовых рвов, заполненных водой. У озера причудливая конфигурация берегов. Поэтому интересен его обход, во время которого можно полюбоваться изменяющимися пейзажами, открывающимися с многочисленных мысочков и заливов.

Вопросами происхождения и развития озера активно занимались сотрудники Киров-

ских музеев и институтов в середине прошлого века [4, 9, 10], при этом данные о химическом составе воды озера в литературе отсутствуют.

Целью нашей работы является получение первичных данных о химическом составе абиотических компонентов озера – воды и донных отложений.

### Материалы и методы исследований

Озеро Чваниха в Медведском бору представляет собой дугообразную цепочку воронок, заполненных водой, общей длиной более 1 км и глубиной до 14,5 м, ширина озера колеблется от 50 до 120 м. Северо-западнее Чванихи, через лесную дорогу на Нему, находится другое озеро, состоящее из 7 слившихся и весьма быстро развивающихся провалов. Перемычка, по которой проходит дорога, постепенно сужается и в будущем, возможно, совсем исчезнет. Озеро подземно-проточное. Вода в нём холодная, прозрачность достигает 8 м. Это указывает на постоянную подземную циркуляцию воды в озере по системе подземных трещин. В результате здесь не скапливаются органические остатки, дно всегда чистое и песчаное.

Предположительно озеро образовалось на рубеже XIX–XX веков после серии из трёх землетрясений (в 1896, 1897 и 1908 гг.). Косвенно это подтверждается тем, что на карте Нолинского уезда 1887 г. (масштаб 1:84000) [11], составленной Вятским губернским земским статистическим бюро, где обозначены реки, пруды и другие водные объекты, озеро отсутствует.

По схеме районирования [10] на территории Кировской области выделяются три карстовых района: Ивкинский, Немдинско-Вятский (правобережный), Левобережно-Вятский (Медведский). Озеро Чваниха приурочено к последнему из перечисленных. Левобережно-Вятский карстовый район находится в пределах Уржумского поднятия Вятского Увала. Известно, что интенсивность вертикальной трещиноватости неизбежно возрастает в зонах тектонических поднятий (как в сводовых частях, так и на крыльях).

В зонах трещин отседания интенсивно протекают карстовые и суффозионные процессы, приводящие к образованию провальных форм. В карстовой области юга Вятского Увала провальные образования нанизаны на продольные трещины бортового отпора или трещины отседания. Геоморфологически этот район занимает вторую надпойменную террасу р. Вятки, наклонённую к пойме под углом 1–3° [12, 13].

Пробы воды и донных отложений из оз. Чваниха были отобраны летом 2020 г. Для сравнения также был взят образец воды из скважины на территории п. Медведок.

Аналитические работы выполнены на базе аналитических лабораторий геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

Содержание главных катионов (Ca, Mg, Na, K) и микроэлементов (Sr, Ba, Fe, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Al, Ti, Rb, U, V, Cr, As, Se, Mo, P) в воде анализировали методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП–МС, масс-спектрометр ELAN–6100). Калибровку осуществляли по растворам мультиэлементного стандарта (набор ICP-MS-68 A,B, «High-Purity Standards», США). Правильность измерений контролировали использованием внутреннего стандарта (Indium ICP Standard CertiPUR 1002 мг/л±0,4%, «Merck», Германия). Контроль точности проводили измерением стандартного раствора CRM–TMDW (Trace Metals in Drinking Water Standard, «High Purity Standards», США).

Величину химического потребления кислорода (ХПК) определяли методом бихроматной окисляемости с фотометрическим окончанием согласно ГОСТ 31859-2012 (спектрофотометр PortLab 501, Великобритания).

Содержание хлорид- и гидрокарбонат-ионов оценивали методами объёмного титрования; нитрат-иона – методом потенциометрии; сульфат-иона – методом рентгенофлуоресцентного анализа с предконцентрированием по методу высушенной капли согласно [14]. Содержание фосфат-иона рассчитывали по результатам измерения в пробах воды фосфора методом ИСП–МС.

Для графического изображения макро-состава воды использованы диаграммы Стиффа [15], построенные с помощью модуля GSS программного пакета The Geochemist's Workbench (GWB) [16].

На основании полученных аналитических данных был проведён термодинамический расчёт растворённых форм нахождения

микрокомпонентов (Ba, Sr, Fe, Mn, Zn, Cd, Ni, Co, Cu, Pb) в водах с применением программы Visual-MINTEQ, версия 3.1 [17]. Исходный состав системы задавали по результатам химических анализов (табл. 1, 2), при этом параметр DOC (Dissolved Organic Carbon), необходимый для расчёта комплексообразования с органическими кислотами в соответствии с Гауссовой моделью растворённого органического вещества (Gaussian DOM), рассчитывали как  $DOC=0,375 \cdot X_{ПК}$ , где  $0,375=M(C)/M(O_2)=12/32$ . Данный подход традиционно используется, в частности, в работах сотрудников Карельского научного центра [18].

Анализ донных отложений включал определение их минерального и химического состава после предварительного истирания до фракции <0,075 мм.

Минеральный состав донных отложений анализировали с использованием рентгеновского дифрактометра MiniFlex-600 (Rigaku, Япония). Химический состав донных отложений определяли методом энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализа (РФА–ЭД) с использованием спектрометра Niton FXL 959 GOLDD+ (Thermo Scientific, США) с продувкой измерительной камеры гелием для повышения пределов обнаружения лёгких элементов (Mg–Cl).

## Результаты и обсуждение

Результаты определения макрокомпонентного состава вод из озера и скважины на территории п. Медведок, а также данные по составу подземных вод зоны выщелачивания умеренного климата [19] и средние содержания в реках мира [20] приведены в таблице 1. Исследованные воды ультрапресные (минерализация <0,2 г/л), слабощелочные, по классификации [21] относятся к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, второму типу. В сравнении со средними содержаниями в реках мира воды озера более минерализованы, содержание Ca, Mg и гидрокарбонат-иона выше, чем в реках мира, а Na, K и хлорид-иона – ниже. Подземные воды на изучаемой территории, напротив, обладают существенно меньшей минерализацией по сравнению с подземными водами зоны выщелачивания умеренного климата в среднем и более высоким значением pH.

При изучении литературных данных о геологическом строении территории авторы столкнулись с несколькими точками зрения

Таблица 1 / Table 1

Минерализация (M), ионный состав и pH вод из оз. Чваниха и скважины на территории п. Медведок / Salinity (S), ionic composition and pH in the waters of the Lake Chvanikha and the well in Medvedok settlement

Объект / Object	pH	M / S	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
			мг/л / mg/L							
Поверхностные воды / Surface water										
Оз. Чваниха Lake Chvanikha	7,8	185	29,0	10,2	2,3	0,7	133	9,9	0,6	<0,5
PM / WR	–	85,1	11,9	2,98	5,52	1,72	48,6	8,4	5,92	–
Подземные воды / Ground water										
Скважина Well	8,0	140	24,4	5,2	3,6	0,5	89	11,3	1,6	4,4
ПВЗВ / UWLZ	6,8	354	38,3	16,5	23,8	2,74	222	18,2	15,9	2,13

Примечание: ПВЗВ – среднее содержание в подземных водах зоны выщелачивания умеренного климата [19]; PM – среднее содержание в реках мира [20], «–» – информация отсутствует.

Note: UWLZ is the average contents in the underground waters of the moderate climate leaching zone [19]; WR is the average contents in the rivers of the world [20], “–” – no information.

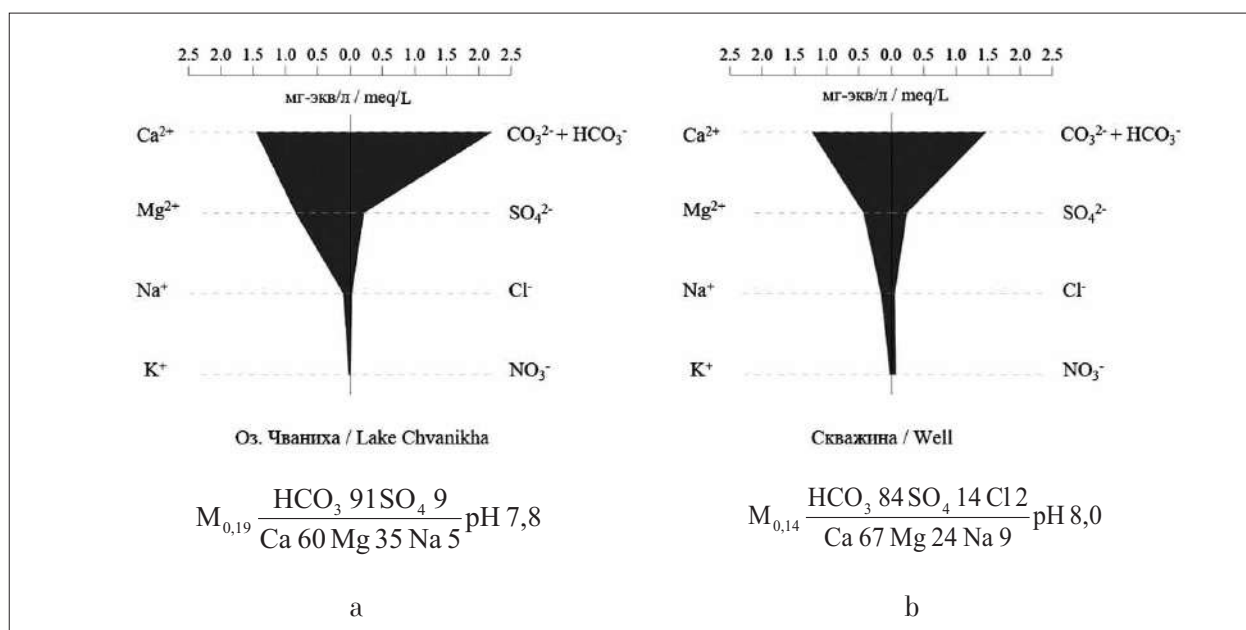


Рис. 1. Диаграммы Стиффа и формулы ионного состава вод из оз. Чваниха (а) и скважины на территории п. Медведок (б)  
 Fig. 1. Stiff patterns and ion's formulas for waters of the Lake Chvanikha (a) and the well in Medvedok settlement (b)

о доминирующем типе карстующихся пород: карбонатные (мергели и известняки) [12]; гипсы [13]; верхние толщи представлены доломитами, ниже залегают гипсы, выщелачиванием которых и объясняется образование озёрной котловины [10]. Диаграммы Стиффа (рис. 1) наглядно демонстрируют разницу в составе подземных вод и вод озера и позволяют косвенно судить о том, какие породы подвергаются карстовым процессам.

Состав воды озера соответствует составу вод, характерных для карбонатного карста; заметная доля магния в катионном составе

воды (35 экв. %) свидетельствует о преимущественном растворении доломита. Некоторое увеличение доли сульфатов в подземных водах (до 14 экв. % с 9 экв. % в воде озера) позволяет предположить наличие небольших прослоев гипса на глубине.

Содержание всех изученных микроэлементов в озере (табл. 2) ниже ПДК химических веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения и в целом соответствует средним содержаниям в реках мира [22].

Содержание микрокомпонентов в воде скважины на территории п. Медведок (табл. 2) ниже ПДК химических веществ в водах

Таблица 2 / Table 2

Содержание растворённых форм микроэлементов (мкг/л) в водах из оз. Чваниха и скважины на территории п. Медведок / The dissolved forms of trace elements content (µg/L) in the water of the Lake Chvanikha and the well in Medvedok settlement

Объект / Object	Sr	Ba	Fe	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Cd
Поверхностные воды / Surface water										
Оз. Чваниха Lake Chvanikha	156	37,08	40,0	<0,1	0,09	1,52	0,93	3,22	0,08	0,002
ПДК <sub>1</sub> / MPC <sub>1</sub>	400	740	100	10	10	10	1	10	6	5
PM / WR	60	23,0	66	34	0,15	0,80	1,48	0,60	0,08	0,08
Подземные воды / Ground water										
Скважина Well	112	13,1	25,8	1	0,06	1,05	0,83	6,91	0,04	0,005
ПДК <sub>2</sub> / MPC <sub>2</sub>	7000	100	300	100	100	100	1000	5000	30	1
ПВЗВ / UWLZ	185	25,3	689	59	0,34	3,45	4,85	42,80	3,10	0,15
Объект / Object	Al	Ti	V	Cr	As	Se	Mo	U	Rb	Ag
Поверхностные воды / Surface water										
Оз. Чваниха Lake Chvanikha	19	0,59	0,62	0,21	0,75	1,75	0,39	0,28	0,58	0,011
ПДК <sub>1</sub> / MPC <sub>1</sub>	40	60	1	20	50	2	1	–	100	–
PM / WR	32	0,49	0,71	0,7	0,62	0,07	0,42	0,37	1,63	0,004
Подземные воды / Ground water										
Скважина Well	16	0,35	4,88	1,25	1,76	1,70	0,29	0,64	0,08	0,006
ПДК <sub>2</sub> / MPC <sub>2</sub>	200	100	100	50	50	10	250	15	100	50
ПВЗВ / UWLZ	165	8,82	1,28	2,83	1,64	0,64	0,89	0,51	2,55	0,24

Примечание: «–» – информация отсутствует; ПДК<sub>1</sub> – предельно-допустимые концентрации химических веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552); ПДК<sub>2</sub> – предельно-допустимые концентрации химических веществ в водах хозяйственно-питьевого назначения (согласно СанПиН 1.2.3685-21). ПВЗВ – среднее содержание в подземных водах зоны выщелачивания умеренного климата [19], PM – среднее содержание в реках мира [22].

Note: “–” – no information; MPC<sub>1</sub> – maximum permissible concentration for the waters of fishery aquatic formations according to the Order of Ministry of Agriculture of Russia No. 552 of December 13, 2016; MPC<sub>2</sub> – maximum permissible concentration for the waters of domestic and drinking purposes (according to SanPiN 1.2.3685-21); UWLZ is the average contents in the underground waters of the moderate climate leaching zone [19], WR is the average contents in the rivers of the world [22].

хозяйственно-питьевого назначения и в целом находится на уровне средних содержаний в подземных водах зоны выщелачивания умеренного климата [19].

Проведённый термодинамический расчёт показывает, что воды недосыщены по карбонатам кальция и магния (кальциту и доломиту), а также по сульфату кальция (гипсу). Это говорит о потенциальной растворяющей способности вод по отношению к карстующимся породам и возможности дальнейшего развития озера.

Результаты расчёта растворённых форм нахождения микроэлементов, определяющих их токсичность для биоты, представлены на рисунке 2. Основная часть Ba, Sr, Fe, Mn, Cd, Co, Zn и Ni находится в растворе в виде свободных ионов (более 95% Ba, Sr и Fe; более 80% Mn, Cd и Co и более 70% Zn и Ni). На втором месте – карбонатные комплексы (17–22%

Mn, Zn и Ni; 10–15% Cd и Co). Для Ba, Cd, Zn и Ni содержание органических комплексов получено на уровне 2,5–4,5%, для Sr, Fe, Mn и Co – менее 0,01%. Гидроксокомплексы в относительно заметном количестве (около 4,5%) характерны только для Zn, для остальных элементов их количество не превышает 1%.

Распределение по формам нахождения Cu и Pb кардинально отличается от описанных выше элементов. Для них преобладающей формой являются карбонатные комплексы (83 и 76% соответственно); на втором месте – органические комплексы (6% Cu и 16,5% Pb); остальная часть приходится примерно поровну на свободные ионы и гидроксокомплексы. Содержание сульфатных комплексов для всех элементов не превышает 1%; хлоридных и нитратных – 0,01%. Распределение форм нахождения микроэлементов в воде скважины на территории п. Медведок, несмотря на отличия



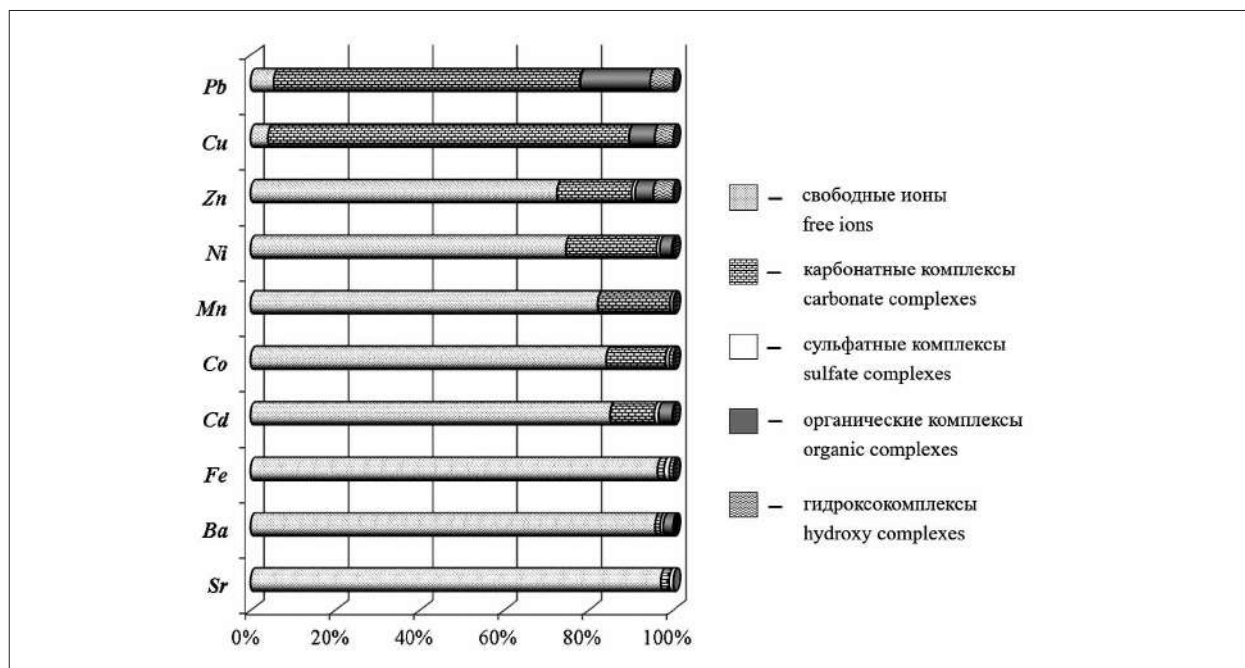


Рис. 2. Результаты термодинамических расчётов распределения растворённых форм нахождения микроэлементов в воде оз. Чваниха  
 Fig. 2. The results of thermodynamic calculations of dissolved trace elements speciation in the waters of the Lake Chvanikha

Таблица 3 / Table 3

Химический состав донных отложений оз. Чваниха  
 The bottom sediments chemical composition of the Lake Chvanikha

Макрокомпоненты, % / Macrocomponents, %											
Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl
Донные отложения оз. Чваниха / The bottom sediments of the Lake Chvanikha											
-	90,56 ±0,28	6,95 ±0,09	<0,1	0,29 ±0,01	0,68 ±0,02	0,93 ±0,05	<0,01	0,18 ±0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Современные речные пески / Modern river sands											
0,55	86,10	5,45	0,61	0,98	0,96	2,61	0,06	0,74	0,14	0,06	-
Микроэлементы, мг/кг / Trace elements, ppm											
Cu	Zn	Mo	Cd	As	Pb	Ni	Cr	V	Sr	Rb	Zr
Донные отложения оз. Чваниха / The bottom sediments of the Lake Chvanikha											
<10	<5	<2	<2	<2	<5	14±2	50±5	17±3	63±2	12±1	44±1
Стандартный образец кварцевого песка / Standard reference material of quartz sand											
10±1	7,5 ±1,2	4,3 ±0,3	<0,1	<1	1,0 ±0,5	6,3 ±1,6	-	-	-	-	-

Примечание: «-» – информация отсутствует; средние содержания макрокомпонентов для современных речных песков приведены по [23] (информация по микроэлементному составу песков отсутствует); содержания микроэлементов в кварцевом песке приведены согласно паспорту на стандартный образец кварцевого песка OREAS 22c.

Note: “-” – no information; average contents of macrocomponents in the modern river sands are given according to [23] (no information on trace elements); contents of trace elements are given according to certificate of analysis for quartz sand OREAS 22c.

в макрокомпонентном составе, в целом соответствует распределению форм в воде оз. Чваниха.

Донные отложения озера представлены тонкозернистыми песками, которые мощной толщей перекрывают карстующиеся породы. Подобное залегание отложений приводит

к увеличению глубины карстовых провалов по сравнению с районами с поверхностным залеганием карстующихся пород, где воронки не отличаются большой глубиной [10, 13].

По данным рентгеновской дифракции матрица песков преимущественно сложена квар-

цем (90%). В качестве минеральных примесей присутствуют плагиоклаз (5%), смектит (3%), калиевый полевой шпат (2%). Химический состав песков озера Чваниха (табл. 3) в целом соответствует среднему составу современных речных песков, однако характеризуется более высоким содержанием SiO<sub>2</sub> и меньшим содержанием примесей.

Резкое преобладание кварца и слабая степень его ожелезнения определяют низкую сорбционную ёмкость песков озера, что в условиях отсутствия значимой техногенной нагрузки обуславливает невысокие, типичные для кварцевых песков, содержания в донных отложениях потенциальных загрязнителей (Cu, Zn, Pb, Cd, As, Mo, Ni, Cr, V).

### Заключение

В результате выполненных исследований охарактеризован состав абиогенных компонентов оз. Чваниха. Установлено, что воды озера, как и подземные воды изученной территории, являются ультрапресными, слабощелочными; по классификации [21] относятся к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, второму типу.

Состав вод косвенно свидетельствует о развитии карбонатного карста в верхних толщах (преимущественно растворение доломита) и возможном наличии незначительных прослоев гипса на глубине. Низкая минерализация подземных вод и их недосыщенность по кальцию, доломиту и гипсу объясняет высокую растворяющую способность по отношению к карстующимся породам, что, совместно с происходящим понижением уровня грунтовых вод, определяет дальнейшее развитие карстовых процессов и увеличение размеров озера.

Содержание всех изученных микроэлементов в озере ниже ПДК химических веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения и в целом соответствует средним содержаниям в реках мира. Содержание микрокомпонентов в воде источника водопользования на территории п. Медведок ниже ПДК химических веществ в водах хозяйственно-питьевого назначения и в целом соответствует средним содержаниям в подземных водах зоны выщелачивания умеренного климата.

Термодинамический расчёт растворённых форм нахождения микроэлементов в воде показал, что для Sr, Ba, Fe, Mn, Zn, Ni, Co, Cd, преобладающими формами являются свободные ионы, для Cu и Pb – карбонатные комплексы.

Донные отложения озера представлены тонкозернистыми кварцевыми песками, которые мощной толщей перекрывают карстующиеся породы. Резкое преобладание кварца и слабая степень его ожелезнения определяют низкую сорбционную ёмкость песков, что в условиях отсутствия значимой техногенной нагрузки обуславливает невысокие, типичные для кварцевых песков, содержания в донных отложениях потенциальных загрязнителей (Cu, Zn, Pb, Cd, As, Mo, Ni, Cr, V).

*Статья подготовлена в рамках проекта «Жемчужина в ожерелье», поддержанного Фондом президентских грантов, и реализуемого в сотрудничестве с администрацией г. Нолинска, МБУК «Музей истории и краеведения» г. Нолинска, НКО «Возрождение» (г. Нолинск), ООО «Нолинская лесопромышленная компания» и центром компетенции «Использование биологических ресурсов» Вятского государственного университета (г. Киров). Авторы выражают благодарность В.Л. Косорукову за помощь в определении минерального состава донных отложений.*

### Литература

1. Перечень действующих ООПТ на территории Кировской области [Электронный ресурс] <https://geportal43.ru/oopt/list/> (Дата обращения: 12.10.2024).
2. Тарасова Е.М., Кондрухова С.В., Целищева Л.Г. Государственный природный заповедник «Нургуш» // Теоретическая и прикладная экология. 2009. № 2. С. 90–97. doi: 10.25750/1995-4301-2009-2-090-097
3. Савиных Н.П., Пересторонина О.Н., Киселёва Т.М., Шабалкина С.В. Особо охраняемые природные территории Кировской области: современное состояние и перспективы развития // Научные ведомости. Серия Естественные науки. 2011. Т. 9 (104). № 15/1. С. 10–15.
4. Соловьёв А.Н. Памятники природы города Кирова и его окрестностей. Киров: АиСАН, 2017. 136 с.
5. Медведский бор: сборник статей / Упр. охраны окружающей природной среды и природопользования Кировской обл., Координационно-методический совет по экологическому образованию, воспитанию и просвещению населения Кировской обл. Киров: Триада плюс, 2006. 104 с.
6. Матушкин А.С., Прокашев А.М. Структура и картографирование дюнно-карстовых ландшафтов задровых равнин Вятско-Камского Предуралья // Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 1. С. 53–60. doi: 10.25750/1995-4301-2011-1-053-060
7. Савиных Н.П., Лелекова Е.В., Шаглеина М.Н. О воздействии естественному возобновлению *Pinus sylvestris* L. // Теоретическая и прикладная экология. 2018. № 4. С. 108–113. doi: 10.25750/1995-4301-2018-4-108-113

References

8. Лелекова Е.В., Коновалова И.А. По экологической тропе среди сосен на дюнах // Устойчивое развитие особо охраняемых природных территорий: сб. статей Всероссийской научно-практической конференции. Сочи: изд-во Государственного казенного учреждения Краснодарского края «Природный орнитологический парк в Имеретинской низменности», 2019. Т. 6. С. 160–168.

9. Ворончихин Е.И. По Вятскому краю. Ч. 1: Путеводитель по примечательным объектам природы. Киров: Кировский обл. центр детско-юношеского туризма и экскурсий, 1996. 160 с.

10. Ступишин А.В. Равнинный карст и закономерности его развития на примере Среднего Поволжья. Казань: изд-во Казанского ун-та, 1967. 291 с.

11. ГИС «Виртуальная Вятская губерния» [Электронный ресурс] <https://gubernia43.ru/> (Дата обращения: 22.06.2021).

12. Энциклопедия Земли Вятской. Т. 7. Природа / под ред. В.А. Ситникова. Киров: Областная писательская организация, 1997. 605 с.

13. Русских А.В., Иванов А.Д. Пещеры и карстовые озёра Волго-Вятского края. Киров, 1992. 87 с.

14. Лубкова Т.Н., Липатникова О.А., Филатова О.Р., Балыкова И.В. Рентгенофлуоресцентный анализ сульфат-иона в водных растворах по методу высушенной капли с использованием портативного спектрометра // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2022. № 2. С. 59–67. doi: 10.33623/0579-9406-2022-2-59-67

15. Stiff H.A. Interpretation of chemical water analysis by means of patterns // Journal of Petroleum Technology. 1951. V. 3. No. 10. P. 15–17. doi: 10.2118/951376-G

16. Программный пакет The Geochemist's Workbench (GWB) [Электронный ресурс] <https://www.gwb.com> (Дата обращения: 03.06.2021).

17. Gustafsson J.P. Программный пакет Visual-MINTEQ. Версия 3.1 [Электронный ресурс] <https://vminteq.lwr.kth.se> (Дата обращения: 21.09.2021).

18. Лозовик П.А., Морозов А.К., Зобков М.Б., Духовичева Т.А., Осипова Л.А. Аллохтонное и автохтонное органическое вещество в поверхностных водах Карелии // Водные ресурсы. 2007. Т. 34. № 2. С. 225–237.

19. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. М.: Недра, 1998. 367 с.

20. Meybeck M. Global occurrence of major elements in rivers // Treatise on Geochemistry. V. 5. Amsterdam: Elsevier-Pergamon, 2004. P. 207–223.

21. Алёкин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 413 с.

22. Gaillardet Y., Viers Y., Dupre B. Trace elements in river water. Ch. 7.7 // Treatise on Geochemistry. Elsevier Ltd., 2014. V. 7. P. 195–235.

23. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых / под ред. А.П. Соловова. М.: Недра, 1990. 335 с.

1. National protected areas of the Kirov region [Internet resource] <https://geoportal43.ru/oopt/list/> (Accessed: 12.10.2021).

2. Tarasova E.M., Kondrakhova S.V., Tselishcheva L.G. The state nature reserve “Nurgush” // Theoretical and Applied Ecology. 2009. No. 2. P. 90–97 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2009-2-090-097

3. Savinykh N.P., Perestoronina O.N., Kiseleva T.M., Shabalkina S.V. Specially conservational natural territories of Kirov region: present status and development prospects // Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences. 2011. V. 9 (104). No. 15/1. P. 10–15 (in Russian).

4. Soloviev A.N. Natural monuments of the Kirov region. Kirov: AiSAN, 2017. 136 p. (in Russian).

5. Medvedsky bor: collection of articles / Department of environmental protection and nature management of the Kirov region. Coordination and methodological council for environmental education, education and enlightenment of the population of the Kirov region. Kirov: Triada plus, 2006. 104 p. (in Russian).

6. Matushkin A.S., Prokashev A.M. Structure and mapping of dune-karst landscapes of sandy plains in Vyatka-Kama Pre-Urals // Theoretical and Applied Ecology. 2011. No. 1. P. 53–60 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2011-1-053-060

7. Savinykh N.P., Lelekova E.V., Shakleina M.N. About the promotion of natural restoration of *Pinus sylvestris* L. // Theoretical and Applied Ecology. 2018. No. 4. P. 108–113 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2018-4-108-113

8. Lelekova E.V., Konovalova I.A. Along the ecological path among the pine trees on the dunes // Sustainable development of specially protected natural areas: collection of articles of the All-Russian scientific and practical conference. Sochi: State public institution of the Krasnodar region “Natural ornithological park in the Imeretinskaya lowland”, 2019. V. 6. P. 160–168 (in Russian).

9. Voronchikhin E.I. In the Vyatka Region. Part 1: A guide to notable natural sites. Kirov: Kirov region center for youth tourism and excursions, 1996. 160 p. (in Russian).

10. Stupishin A.V. Plain karst and patterns of its development on the example of the Middle Volga region. Kazan: Publishing house of Kazan University, 1967. 291 p. (in Russian).

11. GIS “Virtual Vyatka province” [Internet resource] <https://gubernia43.ru/> (Accessed: 22.06.2021).

12. Encyclopedia of Vyatka Land. V.7. Nature / Ed. V. Sitnikov. Kirov: Regional Writers' Organization, 1997. 605 p. (in Russian).

13. Russkikh A.V., Ivanov A.D. Caves and karst lakes of the Volga-Vyatka region. Kirov, 1992. 87 p. (in Russian).



14. Lubkova T.N., Lipatnikova O.A., Filatova O.R., Balykova I.V. X-ray fluorescence analysis of sulfate-ion in aqueous solutions by dried drop technique using a portable spectrometer // *Moscow University Bulletin. Series 4. Geology*. 2022. No. 2. P. 59–67 (in Russian). doi: 10.33623/0579-9406-2022-2-59-67
15. Stiff H.A. The interpretation of chemical water analysis by means of patterns // *Journal of Petroleum Technology*. 1951. V. 3. No. 10. P. 15–17. doi: 10.2418/951376-G
16. The Geochemist's Workbench (GWB) [Internet resource] <https://www.gwb.com> (Accessed: 03.06.2021).
17. Gustafsson J.P. Visual-MINTEQ, ver. 3.1 [Internet resource] <https://vminteq.lwr.kth.se> (Accessed: 21.09.2021).
18. Lozovik P.A., Morozov A.K., Zobkov M.B., Dukhovicheva T.A., Osipova L.A. Allochthonous and autochthonous organic matter in surface waters in Karelia // *Water Resources*. 2007. V. 34. No. 2. P. 225–237 (in Russian).
19. Shvartsev S.L. Hydrogeochemistry of hypergenesis zone. Moskva: Nedra, 1998. 367 p. (in Russian).
20. Meybeck M. Global occurrence of major elements in rivers // *Treatise on Geochemistry*. V. 5. Amsterdam: Elsevier-Pergamon, 2004. P. 207–223.
21. Alekin O.A. Foundations of Hydrochemistry. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1970. 413 p. (in Russian).
22. Gaillardet Y., Viers Y., Dupre B. Trace elements in river water. Ch. 7.7 // *Treatise on Geochemistry*. Elsevier Ltd., 2014. V. 7. P. 195–235.
23. Handbook of geochemical prospecting for minerals / Ed. A.P. Solovov. Moskva: Nedra, 1990. 335 p. (in Russian).