

## СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДЕ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ПРЕСНОВОДНЫХ ВОДОЕМОВ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Ю. Г. ГРИБОВСКИЙ, доктор ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник,  
Д. Ю. НОХРИН, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник,  
Н. А. ДАВЫДОВА, научный сотрудник, соискатель,  
Е. А. КОЛЕСНИК, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник,  
Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр  
Уральского отделения Российской академии наук  
(620142, г. Екатеринбург, ул. Белинского, д. 112а)

**Ключевые слова:** рыбохозяйственные водоемы, вода, донные отложения, химический состав, тяжелые металлы.

Проведен сравнительный анализ состава и качества воды и загрязнения тяжелыми металлами донных отложений в рамках комплексного экотоксикологического мониторинга нескольких пресноводных озерных хозяйств Южного Урала. Для ее реализации были выбраны два водоема с различной степенью антропогенного воздействия: оз. Чебаркуль и в качестве контрольного – пруд на Безымянной балке. Отбор проб воды и донных отложений (ДО) проводился в августе 2016 г. Пробы воды отбирались на четырех станциях в пруду на Безымянной балке и на трех в оз. Чебаркуль, расположенных приблизительно через равные интервалы вдоль центральной оси водоемов со среднего горизонта. Концентрацию в воде главных ионов, соединений азота и фосфора, а также ионов  $Ba^{2+}$  и  $Sr^{2+}$  определяли методом капиллярного электрофореза на системе «Капель 103-Р» (ГК «Люмэкс», Россия). В ДО определяли кислоторастворимую (1 н раствор  $HNO_3$ ) «подвижную» форму металлов. Анализ на содержание металлов в воде проводился согласно ГОСТ Р 51309-99. Анализы выполнены на атомно-абсорбционных спектрофотометрах «AAS-1» («Carl Zeiss», Германия) и «МГА-915МД» (ГК «Люмэкс», Россия). Изучен химический состав и качество воды двух рыбохозяйственных пресноводных водоемов озерного типа на 30 показателей. Обнаружены признаки органического загрязнения водоемов, а также превышение ПДК водоемов рыбохозяйственного использования по ряду микроэлементов и тяжелых металлов: F, Cu, Sr, Zn. Было определено содержание тяжелых металлов в донных отложениях двух рыбохозяйственных водоемов. Показано, что обнаруженные концентрации находятся в пределах ранее установленных значений для водохранилищ Челябинской области. В более высоких концентрациях металлы аккумулированы донными отложениями озера Чебаркуль, испытывающим высокую антропогенную нагрузку.

## CONTENT OF HEAVY METALS IN WATER AND BOTTOM SEDIMENTS OF FRESHWATER RESERVOIRS IN CHELYABINSK REGION

YU. G. GRIBOVSKY, doctor of veterinary sciences, leading researcher,  
D. YU. NOKHRIN, candidate of biological sciences, senior researcher,  
N. A. DAVYDOVA, researcher,  
E. A. KOLESNIK, candidate of biological sciences, senior researcher,  
Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of Russian Academy of Sciences  
(112a Belinskogo Str., 620142, Ekaterinburg)

**Keywords:** fishery reservoirs, water, bottom sediments, chemical composition, heavy metals.

The purpose of the work was to carry out a comparative analysis of the composition and quality of water and heavy metal contamination of bottom sediments within the framework of integrated ecotoxicological monitoring of several freshwater lake farms in the South Urals. For its implementation, two reservoirs with different anthropogenic impact were selected: lake Chebarkul' and as a control – a pond on the Bezmyannaya Balka. Sampling of water and bottom sediments (BS) was carried out in August 2016. Water samples were taken at 4 stations in a pond “On an unnamed beam” and 3 in a lake. Chebarkul' located approximately at regular intervals along the central axis of water resources from the middle horizon. The concentration in the water of the main ions, nitrogen and phosphorus compounds, as well as  $Ba^{2+}$  and  $Sr^{2+}$  ions was determined by capillary electrophoresis on the “Kapel 103-R” system (“Lumex”, Russia). An acid-soluble (1 n  $HNO_3$ ) “mobile” form of metals was determined in the BS. Analysis on the content of metals in water was carried out in accordance with GOST R 51309-99. Analyzes were performed on atomic-absorption spectrophotometers “AAS-1” (“Carl Zeiss”, Germany) and “MGA-915MD” (“Lumex”, Russia). Thus, we studied the chemical composition and water quality of two fish-breeding freshwater lakes of lake type by 30 indicators. Signs of organic pollution of reservoirs, as well as excess of MPC for fishery reservoirs was found for a number of micronutrients and heavy metals: F, Cu, Sr, Zn. The content of heavy metals in the bottom sediments of two fishery reservoirs was determined. We found that the concentrations found are within the previously established values for reservoirs in the Chelyabinsk region. At higher concentrations, metals are accumulated by bottom sediments of lake Chebarkul', which has a high anthropogenic load.

Положительная рецензия представлена М. А. Дерхо, доктором биологических наук, профессором, заведующим кафедрой Южно-Уральского государственного аграрного университета.

В Челябинской области имеется большое количество рыбохозяйственных водоемов, однако значительная часть, как и в большинстве густонаселенных районов в мире, подвержена антропогенному загрязнению [2-4, 6, 7]. В силу геохимических особенностей Уральского региона и высокой концентрации промышленных объектов вода и донные отложения отдельных водоемов испытывают существенную естественную и техногенную микроэлементную нагрузку, при этом многие водоемы примыкают к населенным пунктам и подвержены загрязнению сточными водами и рекреационной нагрузке. Это приводит к ухудшению экологической ситуации, как в масштабах региона, так и комплексно отражается на глобальном минералогическом состоянии водных источников хозяйственного значения [2, 4, 8-12].

**Целью** данной работы было провести сравнительный анализ состава и качества воды и загрязнения тяжелыми металлами донных отложений в рамках комплексного экотоксикологического мониторинга нескольких пресноводных озерных хозяйств Южного Урала. Для ее реализации были выбраны 2 водоема с различной степенью антропогенного воздействия: оз. Чебаркуль и в качестве контрольного – пруд на Безымянной балке.

Оз. Чебаркуль является наиболее крупным из так называемой Чебаркульской группы озер в Чебаркульском районе Челябинской области. В озеро впадает 3 небольшие речки (Еловка, Кудряшевка, Кундуруша) и вытекает одна – р. Коелга (бассейн р. Оби). На его восточном берегу располагается одноименный г. Чебаркуль (население – 40 тыс. чел.), на северном – ж/д станция и пос. Кисегач (в составе г. Чебаркуль), на южном – пос. Боровое (750 чел.) и Малково (650 чел.), на западном – многочисленные базы отдыха и санатории. Дополнительным источником загрязнения воды в последние годы являются изыскательские работы по обнаружению остатков «Челябинского метеорита 2013» [3]. Таким образом, водоем испытывает значительную антропогенную нагрузку.

В озере обитают разнообразные виды рыб, что позволяет считать его рыбопромысловым. На водоеме осуществляется рыбохозяйственная деятельность, включая разведение сиговых.

Вместе с тем для сравнительной оценки экологического состояния водоемов и качества получаемой на них рыбопродукции необходимы сведения о наименее подверженных загрязнению водных объектах, которые могут выступать как региональные контрольные водоемы. Одним из таких объектов является пруд на Безымянной балке. Он расположен на северо-западе Красноармейского муниципального района Челябинской области, к востоку от Дубровского сельского поселения, вдали от промышленных

предприятий. Рекреационная нагрузка на данный водоем также крайне низка. Вместе с тем, он также относится к рыбопромысловым объектам. В составе его ихтиофауны присутствуют: карась, плотва, окунь, ротан, верховка; четыре года назад были вселены щука и карп.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ФАНО России по теме № 0773-2018-0006 «Разработать методы и средства снижения негативного воздействия экотоксикантов на организм сельскохозяйственных животных на территориях экологического загрязнения зоны Южного Урала».

Отбор проб воды и донных отложений (ДО) проводился в августе 2016 г. Пробы воды отбирались на четырех станциях в пруду «На безымянной балке» и на трех в оз. Чебаркуль, расположенных приблизительно через равные интервалы вдоль центральной оси водоемов со среднего горизонта. Концентрацию в воде главных ионов, соединений азота и фосфора, а также ионов  $Ba^{2+}$  и  $Sr^{2+}$  определяли методом капиллярного электрофореза на системе «Капель 103-Р» («Люмэкс», Россия). Сбор данных, анализ полученных электрофореграмм и расчеты по калибровочным кривым выполнены в пакете для сбора и обработки хроматографических данных «МультиХром для Windows» (версия 1.52и, ЗАО «Амперсенд»). В ДО определяли кислоторастворимую (1 н раствор  $HNO_3$ ) «подвижную» форму металлов. Пробоподготовка ДО проводилась методом мокрой минерализации, а биоматериала – методом сухой минерализации согласно [1, 5]. Анализ на содержание металлов в воде проводился после предварительной фильтрации согласно ГОСТ Р 51309-99. Анализы выполнены на атомно-абсорбционных спектрофотометрах «AAS-1» (Carl Zeiss, Германия) и «МГА-915МД» (ГК «Люмэкс», Россия). В качестве градуировочных растворов использовали смеси ГСО отдельных ионов. В ходе статистического анализа, для показателей химического состава воды и содержания металлов в ДО, рассчитывали средние значения с 95 %-ными доверительными интервалами (95 % ДИ).

#### **Результаты исследований**

Химический состав и качество воды. Данные по химическому составу и качеству воды в изученных водоемах представлены в табл. 1 и на рис. 1

Как видно из табл. 1, вода в пруду на Безымянной балке имеет нейтральную реакцию (рН в пределах 6,5–7,5). По классификации И. К. Зайцева по величине минерализации она относится к группе пресных, подгруппе – нормальнопресных вод (0,1–0,5 г/л). Наблюдается тренд роста минерализации в водоеме.

Вода оз. Чебаркуль имеет нейтральную или слабощелочную реакцию (рН в пределах 6,5–8,5). По классификации И. К. Зайцева по величине минерализации она относится к группе пресных, подгруппе –

Таблица 1  
Химический состав и качество воды в Пруду на Безымянной балке и оз. Чебаркуль в августе 2016 г.  
Среднее (*M*) и стандартное отклонение (*sd*)

Table 1  
Chemical composition and water quality in the pond on the Bezmyannaya Balka and lake  
Chebarkul in August 2016. The mean (*M*) and standard deviation (*sd*)

№ п/п No.	Показатель Component	Единица изме- рения Unit	Пруд Pond (n = 4)		Оз. Чебаркуль Lake Chebarkul' (n = 3)	
			<i>M</i>	<i>sd</i>	<i>M</i>	<i>sd</i>
1	2	3	4	5	6	7
Общие показатели Overall indicators						
1	Водород. показатель <i>pH</i>	<i>pH</i>	6,85	0,17	7,28	0,14
2	Жесткость <i>Hardness</i>	°	4,16	0,28	4,96	0,08
3	Минерализация <i>Mineralization</i> - сухой остаток - <i>dry residue</i> - сумма ионов - <i>TDS</i>	мг/дм <sup>3</sup> <i>mg/L</i>	264	2	479	11
4			375	33	481	6
5	Щелочность общая <i>Alcalinity</i>	мг-экв./дм <sup>3</sup> <i>meq/L</i>	3,54	0,20	4,09	0,07
6	Электр. проводимость удельная <i>Conductivity</i>	мкСм/см <i>μS/cm</i>	429	16	514	3
Главные ионы Major ions						
7	Гидрокарбонаты <i>HCO<sub>3</sub><sup>2-</sup></i>	мг/дм <sup>3</sup> <i>mg/L</i>	216,0	12,0	250,1	4,3
8	Сульфаты <i>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></i>	мг/дм <sup>3</sup> <i>mg/L</i>	49,7	1,1	45,5	1,1
9	Хлориды <i>Cl<sup>-</sup></i>	мг/дм <sup>3</sup> <i>mg/L</i>	27,6	1,7	52,2	0,8
10	Калий <i>K<sup>+</sup></i>	мг/дм <sup>3</sup> <i>mg/L</i>	3,8	0,4	8,5	0,6
11	Кальций <i>Ca<sup>2+</sup></i>	мг/дм <sup>3</sup> <i>mg/L</i>	45,6	5,5	39,6	2,4
12	Магний <i>Mg<sup>2+</sup></i>	мг/дм <sup>3</sup> <i>mg/L</i>	23,0	0,3	36,3	1,3
13	Натрий <i>Na<sup>+</sup></i>	мг/дм <sup>3</sup> <i>mg/L</i>	28,7	0,3	45,4	2,1
Растворенные газы Dissolved gases						
14	Кислород <i>O<sub>2</sub></i>	мг/дм <sup>3</sup> <i>mg/L</i>	7,20	1,15	8,47	0,26
Биогенное и органическое вещество Biogenic and organic matters						
15	Аммоний <i>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></i>	мг/дм <sup>3</sup> <i>mg/L</i>	<0,5	–	<0,5	–
16	Нитраты <i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i>	мг/дм <sup>3</sup> <i>mg/L</i>	1,58	0,53	0,76	0,20
17	Нитриты <i>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></i>	мг/дм <sup>3</sup> <i>mg/L</i>	<0,2	–	<0,2	–
18	Фосфаты <i>HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup></i>	мг/дм <sup>3</sup> <i>mg/L</i>	1,71	0,37	0,78	0,17
19	Окисляемость перманганатная <i>Potassium permanganate oxidation</i>	мгО/дм <sup>3</sup> <i>mgO/L</i>	12,51	0,31	9,13	0,23
Микроэлементы и тяжелые металлы Micronutrients and heavy metals						
20	Барий <i>Ba<sup>2+</sup></i>	мг/дм <sup>3</sup> <i>mg/L</i>	0,57	0,15	0,04	0,00

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7
21	Железо <i>Fe</i>	мг/дм <sup>3</sup> <i>mg/L</i>	0,038	0,006	0,124	0,020
22	Кадмий <i>Cd</i>	мг/дм <sup>3</sup> <i>mg/L</i>	≈0,0018	–	<0,0010	–
23	Кобальт <i>Co</i>	мг/дм <sup>3</sup> <i>mg/L</i>	≈0,0054	–	≈0,0027	–
24	Кремний <i>Si</i>	мг/дм <sup>3</sup> <i>mg/L</i>	2,57	1,03	0,77	0,20
25	Марганец <i>Mn</i>	мг/дм <sup>3</sup> <i>mg/L</i>	0,070	0,047	<0,0010	–
26	Медь <i>Cu</i>	мг/дм <sup>3</sup> <i>mg/L</i>	0,0063	0,0011	0,0100	0,0029
27	Никель <i>Ni</i>	мг/дм <sup>3</sup> <i>mg/L</i>	0,0011	0,0000	≈0,0020	–
28	Свинец <i>Pb</i>	мг/дм <sup>3</sup> <i>mg/L</i>	≈0,0043	–	≈0,0090	–
29	Стронций <i>Sr<sup>2+</sup></i>	мг/дм <sup>3</sup> <i>mg/L</i>	0,44	0,09	0,52	0,24
30	Цинк <i>Zn</i>	мг/дм <sup>3</sup> <i>mg/L</i>	0,029	0,007	0,027	0,003

Примечание: знак «≈» указан для средних, полученных с учетом значений менее предела чувствительности методики выполнения измерений.

Выделены превышения ПДК<sub>вр</sub>

Note: the “≈” sign is given for the mean, obtained considering the values below the detection limit. Exceeding the MPC for the fishery reservoir values are highlighted in bold.

Таблица 2  
Тяжелые металлы в составе донных отложений двух уральских водоемов, мг/кг сухого вещества.  
Среднее (*M*) и стандартное отклонение (*sd*)

Table 2  
Heavy metals in bottom sediments of two Ural reservoirs, mg/kg dry matter.  
The mean (*M*) and standard deviation (*sd*)

Металл <i>Metal</i>	Станция отбора проб <i>Station</i>			<i>M</i>	<i>sd</i>
	1	2	3		
Пруд на Безьямняной балке <i>The Pond on the Bezuyannaya Balka</i>					
Железо <i>Fe</i>	4156	3699	590	2815	1120
Кадмий <i>Cd</i>	0,82	0,62	0,31	0,58	0,15
Кобальт <i>Co</i>	1,4	2,1	0,7	1,4	0,4
Марганец <i>Mn</i>	114	88,5	19,2	73,9	28,3
Медь <i>Cu</i>	10,9	8,8	1,7	7,1	2,8
Никель <i>Ni</i>	4,1	4,1	0,45	2,9	1,2
Свинец <i>Pb</i>	4,7	4,7	1,6	3,7	1,0
Цинк <i>Zn</i>	12,8	20,3	3,2	12,1	4,9
Оз. Чебаркуль <i>Lake Chebarkul'</i>					
Железо <i>Fe</i>	864	1524	1191	1193	191
Кадмий <i>Cd</i>	1,8	1,2	1,2	1,4	0,2
Кобальт <i>Co</i>	< 1	< 1	< 1	< 1	–
Марганец <i>Mn</i>	92,8	97,3	500	230	135
Медь <i>Cu</i>	4,1	6,2	5,1	5,1	0,6
Никель <i>Ni</i>	3,9	7,8	15,7	9,1	3,5
Свинец <i>Pb</i>	< 5	< 5	< 5	< 5	–
Цинк <i>Zn</i>	20,9	37,1	32,9	30,3	4,9

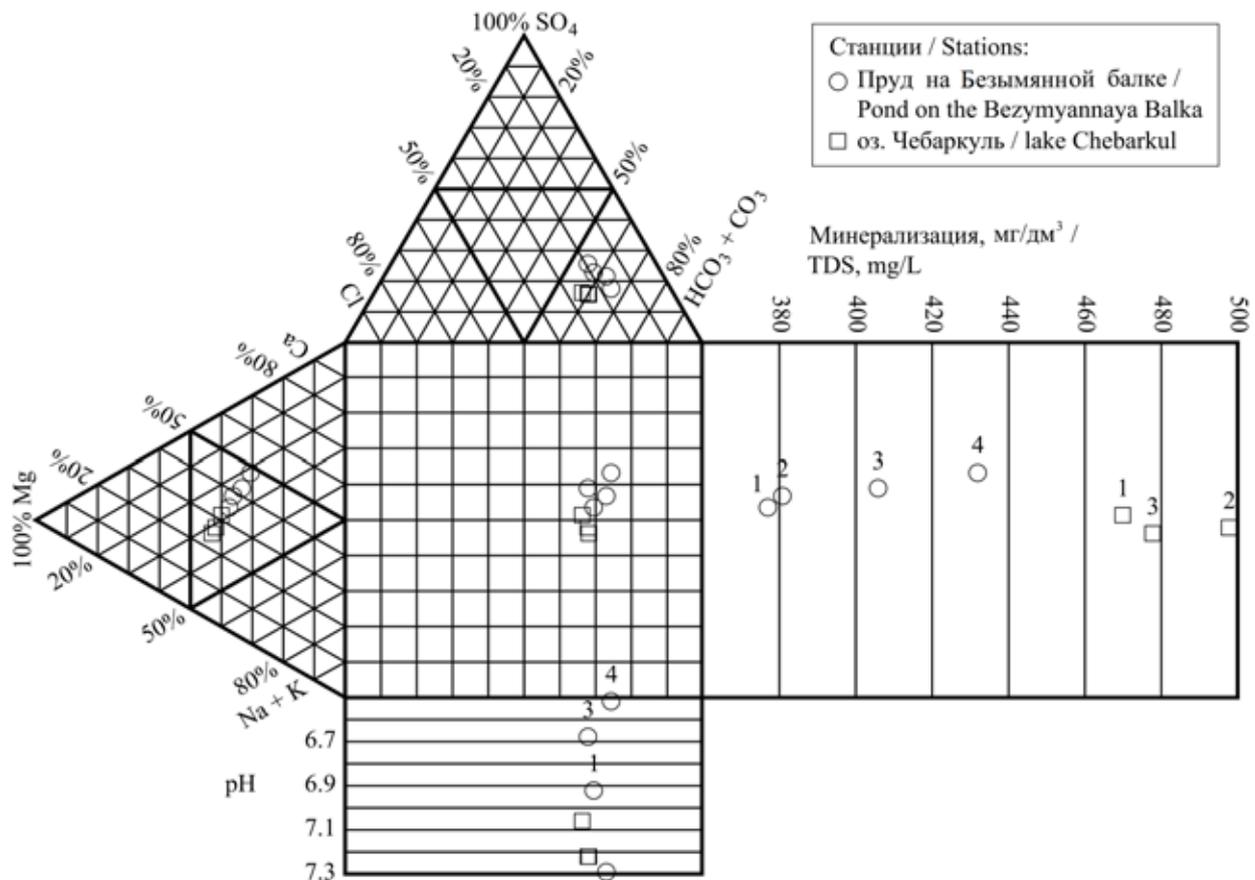


Рис. 1. Химический состав воды двух водоемов на диаграмме Дурова  
 Fig. 1. Chemical composition of the water of two reservoirs on the Durov diagram

нормальнопресных вод (0,1–0,5 г/л) приближаясь к нижней границе жесткопресных вод (0,5–1 г/л).

Превышения ПДК для водоемов рыбохозяйственного значения наблюдались в пруду на Безымянной балке: по нитритам (в одной пробе), фосфатам, а также половине определявшихся микроэлементов и тяжелых металлов: марганцу, меди, никелю, свинцу, стронцию, цинку, а в оз. Чебаркуль – по нитритам (в одной пробе), фосфатам, а также половине определявшихся микроэлементов и тяжелых металлов: марганцу, меди, никелю, свинцу, стронцию и цинку.

Как видно из рис. 1, в пруду на Безымянной балке преобладающим анионом был гидрокарбонат-ион. Катионный состав воды – смешанный, с небольшим преобладанием кальция. По соотношению эквивалентных концентраций главных ионов воду следует отнести к гидрокарбонатным кальциево-магниевонатриевым водам. В воде оз. Чебаркуль преобладающим анионом был гидрокарбонат-ион. Катионный состав воды – смешанный, с небольшим преобладанием магния. Таким образом, по соотношению эквивалентных концентраций главных ионов воду следует отнести к гидрокарбонатным магниево-кальциево-натриевым водам.

Тяжелые металлы в донных отложениях. Результаты определения тяжелых металлов в составе донных отложений двух водоемов представлены в табл. 2.

Поскольку нормативы содержания вредных веществ в составе донных отложений не разработаны, при оценке степени их загрязненности использовали собственные данные по фоновому содержанию элементов. Полученные величины укладываются в границы концентраций, наблюдавшихся нами ранее на водохранилищах Челябинской области [6]. Сравнительный анализ двух водоемов позволяет отметить большие концентрации железа в «Дубровском» водоеме и большие концентрации кадмия, марганца, никеля, цинка – в озере Чебаркуль. Таким образом, по количеству аккумулярованных в донных отложениях металлов оз. Чебаркуль превосходит Дубровский водоем. Как отмечалось выше, Чебаркуль испытывает высокую антропогенную и, в частности, – рекреационную нагрузку, а также с восточной стороны примыкает к городу Чебаркуль [4]. Поэтому повышенные количества металлов в донных отложениях объяснимы.

В целом оба изученных водоема имеют признаки органического загрязнения (повышенные величины окисляемости, фосфатов), а также небольшие превышения нормативов по ряду микроэлементов и тяжелых металлов, типичных для водоемов Южно-Урала. Солевой состав водоемов и кислородный режим – благоприятные для рыбохозяйственной деятельности.

**Выводы**

1. Изучен химический состав и качество воды двух рыбохозяйственных пресноводных водоемов озерного типа на 30 показателей. Обнаружены признаки органического загрязнения водоемов, а также превышение ПДК водоемов рыбохозяйственного использования по ряду микроэлементов и тяжелых металлов: фтору, меди, стронцию, цинку.

2. Определено содержание тяжелых металлов в донных отложениях двух рыбохозяйственных водоемов. Установлено, что обнаруженные концентрации находятся в пределах ранее установленных значений для водохранилищ Челябинской области. В более высоких концентрациях металлы аккумулированы донными отложениями озера Чебаркуль, испытывающим высокую антропогенную нагрузку.

**Литература**

1. Атомно-абсорбционные методы определения токсичных элементов в пищевых продуктах и пищевом сырье. Методические указания. Утверждены: зам. гл. сан. врача РФ А. А. Монисов, 25.12.92 № 01-19/47-11. 27 с.
2. Донник И. М., Шкуратова И. А. Окружающая среда и здоровье животных // Ветеринария Кубани. 2011. № 2. С. 12–13.
3. Захаров С. Г. Экосистема озера Чебаркуль до и после падения метеорита : монография. Челябинск : Край Ра, 2014. 56 с.
4. Министерство экологии Челябинской области. Комплексный доклад о состоянии окружающей среды Челябинской области в 2016 г. [Электронный ресурс]. URL : <http://www.mineco174.ru/htmlpages/Show/protectingthepublic/2016>.
5. Методические указания по определению тяжелых металлов в кормах и растениях и их подвижных соединений в почвах. М. : Минсельхоз России, ГУ химизации, Госкомхимия МСХ РФ, ЦИНАО, 1993. 39 с.
6. Нохрин Д. Ю., Грибовский Ю. Г., Давыдова Н. А., Хасанова Г. И. Содержание и парагенетические ассоциации металлов в донных отложениях водохранилищ Челябинской области // Охрана водных объектов Челябинской области. Современные технологии водопользования : сб. докладов и сообщений обл. науч.-практ. конф. Челябинск : Министерство по радиац. и экол. безопасности Челябинской обл., 2008. С. 147–152.
7. Нохрин Д. Ю., Корляков А. А., Грибовский Ю. Г., Давыдова Н. А. Экогеохимическая характеристика пруда на Безымянной балке (Челябинская область) : мат. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения Заслуженного деятеля науки РСФСР, д. в. н., проф. Кабыша Андрея Александровича. Троицк : Южно-Уральский Государственный аграрный университет, 2017. С. 299–305.
8. Шаравьев П. В., Неверова О. П., Ильясов О. Р., Шкуратова И. А. Биоиндикация состояния водных экосистем в зоне птицефабрик // Аграрный вестник Урала. 2013. № 4. С. 67–69.
9. Literature review for biological monitoring of heavy metals in aquatic environments // MTND Project 4.7.2. North Vancouver : E.V.S. Consultants Limited, 1990. 127 p.
10. Njogu P. M., Keriko J. M., Wanjau R. N. Distribution of heavy metals in various lake matrices; water, soil, fish and sediments: a case study of the lake Naivasha Basin, Kenya // JAGST. 2011. Vol. 13, No. 1. P. 91–106.
11. Singare P. U., Talpade M. S., Dagle D. V. Heavy metals in sediment ecosystem of Bhavan's College Lake of Andheri, Mumbai // International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy. 2013. Vol. 13. P. 105–112
12. Tang W., Shan B., Zhang H. Heavy metal contamination in the surface sediments of representative limnetic ecosystems in Eastern China // Scientific Reports. 2014. No. 4. P. 1–7.

**References**

1. Atomic absorption methods for the determination of toxic elements in food products and food raw materials. Methodical instructions. Approved: Deputy Chief Sanitary Inspector of the Russian Federation A. A. Monisov, December 25, 1992, No. 01-19/47-11. 27 p.
2. Donnik I. M., Shkuratova I. A. An environment and animal health // Veterinary of Kuban. 2011. No. 2. P. 12–13.
3. Zakharov S. G. Ecosystem of Lake Chebarkul before and after the fall of the meteorite : monograph. Chelyabinsk : Kray Ra, 2014. 56 p.
4. Ministry of Ecology of the Chelyabinsk region. Comprehensive report on the state of the environment of the Chelyabinsk region in 2016 [Electronic resource]. URL : <http://www.mineco174.ru/htmlpages/Show/protectingthepublic/2016>.
5. Methodological guidelines for the determination of heavy metals in feed and plants and their mobile compounds in soils. M. : Ministry of Agriculture of Russia, State Administration of chemicalization, State Committee on Chemistry of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation, CINAO, 1993. 39 p.
6. Nokhrin D. Yu., Gribovsky Yu. G., Davydova N. A., Khasanova G. I. Contents and paragenetic associations of metals in the bottom sediments of the reservoirs of the Chelyabinsk region // Protection of water bodies in

- the Chelyabinsk region. Modern technologies of water use : reports of scientific and practical conference. Chelyabinsk : Ministry of Radiation and Ecological Security of the Chelyabinsk Region, 2008. P. 147–152.
7. Nokhrin D. Yu., Korlyakov A. A., Gribovsky Yu. G., Davydova N. A. Ecogeochemical characteristics of the pond on the Bezmyannaya Balka (Chelyabinsk Region) : materials of International scientific and practical conference, devoted to the 100th anniversary of the birth of the Honored Scientist of the RSFSR, Doctor of Veterinary Sciences, Professor Kabyshev Andrei Alexandrovich. Troitsk : South Ural State Agrarian University, 2017. P. 299–305.
8. Sharaviev P. V., Neverova O. P., Ilyasov O. R., Shkuratova I. A. Bioindication of the state of aquatic ecosystems in the zone of poultry farms // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2013. No. 4. P. 67–69.
9. Literature review for biological monitoring of heavy metals in aquatic environments // MTND Project 4.7.2. North Vancouver : E.V.S. Consultants Limited, 1990. 127 p.
10. Njogu P. M., Keriko J. M., Wanjau R. N. Distribution of heavy metals in various lake matrices; water, soil, fish and sediments: a case study of the lake Naivasha Basin, Kenya // *JAGST*. 2011. Vol. 13, No. 1. P. 91–106.
11. Singare P. U., Talpade M. S., Dagli D. V. Heavy metals in sediment ecosystem of Bhavan's College Lake of Andheri, Mumbai // *International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy*. 2013. Vol. 13. P. 105–112.
12. Tang W., Shan B., Zhang H. Heavy metal contamination in the surface sediments of representative limnetic ecosystems in Eastern China // *Scientific Reports*. 2014. No. 4. P. 1–7.