

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ И СОСТОЯНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ВЫБРОСАМИ ЧерМК ПАО "СЕВЕРСТАЛЬ"

**К.Ю. Михайличенко, А.И. Курбатова,
А.Ю. Доронцова, А.А. Паукова**

Российский университет дружбы народов



Исследовано качество вод и донных отложений Рыбинского водохранилища, на прилегающей территории которого располагается Череповецкий металлургический комбинат ПАО "Северсталь", оказывающий неблагоприятное воздействие на состояние водного объекта. Проведена оценка загрязнения воды и донных отложений металлургическим комбинатом в северной части Рыбинского водохранилища в связи с планируемым строительством целлюлозно-бумажного комбината в месте проведения исследования.

Ключевые слова: тяжелые металлы, загрязнение, выбросы, донные отложения, Рыбинское водохранилище

Assessment of Water Quality and State of Bottom Sediments of the Northern Part of the Rybinsk Reservoir by Emissions of the CherMK PAO "Severstal"

K.Yu. Mikhaylichenko, A.I. Kurbatova, A.Yu. Dorontsova, A.A. Paukova

Peoples Friendship University of Russia (RUDN University), 117198 Moscow, Russia

The quality of the water and bottom sediments of the Rybinsk Reservoir, on the adjacent territory of which the Cherepovetskiy Metallurgical Plant PJSC "Severstal" is located, which has an adverse effect on the state of the water body is investigated. The pollution of water and bottom sediments by the metallurgical plant in the northern part of the Rybinsk reservoir was assessed in connection with the planned construction of a pulp and paper mill (PPM) at the site of the study.

Keywords: heavy metals, pollution, emissions, bottom sediments, Rybinsk reservoir

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-10-39-43

Черная металлургия является базовой для многих других отраслей промышленности. Увеличение объемов производства в металлопотребляющих отраслях и, прежде всего, в машиностроении и строительстве позволили сохранить тенденцию роста металлопотребления в стране. Несмотря на уменьшение объема выпускаемой продукции с 2007 по 2015 г., к 2017 г. предприятия черной металлургии России увеличили производительность и выпустили 71,3 млн т стали [1]. По данным Всемирной Ассоциации Стали (World Steel Association), Россия занимает пятое

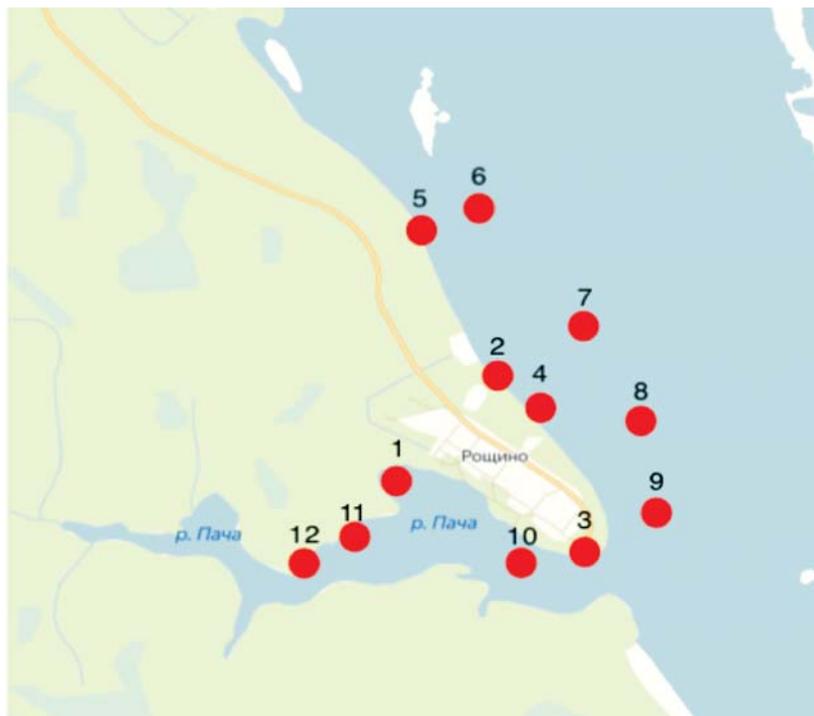
место в десятке мировых лидеров по производству проката [2]. Согласно прогнозам, в России производительность в области черной металлургии увеличится к концу 2019 г. в связи с вводом в эксплуатацию некоторыми крупнейшими заводами нового оборудования. К числу таких предприятий относится и ЧерМК ПАО "Северсталь".

В распоряжении комбината имеется более сотни крупных технологических аппаратов для переработки стали [3].

Предприятие специализируется на горячекатаном и холоднокатаном стальном прокате, а также поставке металлопроката и

стальных труб для строительства, машиностроения, автомобильной и нефтегазовой отраслей.

В выбросах и сбросах от черной металлургии преобладает загрязнение веществами 2 класса опасности (В, Со, Си, Ст). Из 1 класса опасности в зоне влияния черной металлургии накапливается в экосистемах цинк. Выбрасываемая комбинатом пыль на 30–70 % состоит из железа и его соединений — оксидов, сульфатов, карбонатов, а также на 1–20 % из соединений кальция и магния. Поэтому осаждение этой пыли формирует техногенную аномалию щелочного типа, что негативно сказывается на



Расположение точек отбора проб воды и донных отложений Рыбинского водохранилища

Location of water sampling points and bottom sediments of the Rybinsk reservoir

устойчивости экосистем. Поэтому оценка качества воды в поверхностных водах, в том числе и вод Рыбинского водохранилища, а также анализ загрязнения донных отложений является актуальной экологической задачей.

Объекты и методы исследования

Объекты исследования — поверхностные воды и донные отложения Рыбинского водохранилища. Рыбинское водохранилище расположено преимущественно в Ярославской области, а также частично в Тверской и Вологодской областях. По площади водохранилище занимает третье место в России (4580 км²) [4]. Рыбинское водохранилище — озерное, равнинного типа. Мелководья с глубинами от 0 до 2 м занимают значительную часть его площади — более 20 %. Средняя глубина водохранилища — 5,6 м. Полезный объем водохранилища позволяет осуществлять летнее годовое и частично многолетнее регулирование речного стока. На сегодняшний день Рыбинское водохранилище является основным регулятором речного стока на Верхней Волге. Водные ресурсы Рыбинского водохранилища используются (в порядке хозяйственно-экономиче-

ской важности) для целей энергетики, водного транспорта, водоснабжения, рыбного хозяйства и рекреации, а также для предупреждения наводнений.

В июле и августе 2018 г. было проведено исследование качества вод и уровня загрязнений донных отложений Рыбинского водохранилища, на берегу которого располагается металлургическое предприятие.

Отбор проб образцов проводился в двенадцати контрольных точках (рис. 1) в соответствии с методиками, указанными в Р 52.24.353-2012 "Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод" и с методикой отбора проб донных отложений, прописанной в Р 52.24.609-2013 "Организация и проведение наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов". Исходя из глубины водоема, отбор проб проводился на двух горизонтах: поверхностном на глубине 0,5 м и придонном на расстоянии 0,5 м от дна.

Анализ проб проводился в лабораторных условиях в соответствии с методиками, описанными в следующих нормативных документах: РД 52.18.595-96 "Федеральный перечень методик

выполнения количественных измерений, допущенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей среды" и РД 52.24.635-2002 "Методические указания. Проведение наблюдений за токсическим загрязнением донных отложений в пресноводных экосистемах на основе биотестирования".

Перечень контролируемых показателей загрязненности поверхностных вод устанавливался в соответствии со статьей 45 Водного Кодекса РФ №74-ФЗ от 03.08.18:

- водородный показатель или pH;
- удельная электрическая проводимость;
- БПК₅, ХПК;
- NH⁴⁺, NO²⁻, NO³⁻, PO₄³⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻;
- Ca, Mg, K, Na, Cu, Pb, Cd, Cr, Zn, Ni, Hg, Fe, Co, V; As;
- нефтепродукты;
- АПАВ;
- фенолы;
- общая минерализация;
- растворенный кислород;
- взвешенные вещества.

Анализ на содержание тяжелых металлов проводился в соответствии с РД 52.44.594-2016 "Массовая концентрация тяжелых металлов в атмосферных осадках и поверхностных водах. Методика измерений методом атомно-абсорбционной спектроскопии с беспламенной атомизацией".

Согласно Р 52.24.609-2013 в донных отложениях определяют следующие показатели:

- pH;
- содержание Cu, Pb, Cd, Cr, Zn, Ni, Hg, As;
- концентрация SO₄²⁻.

Результаты и их обсуждение

В ходе исследования, проведенного в 2018 г. в северной части Рыбинского водохранилища, были выявлены фактические значения концентраций загрязняющих веществ в воде исследуемого объекта [5]. Некоторые рекомендуемые для контроля показатели не превышали предельно допустимые значения СанПиН 2.1.5.980-00 "Гигиенические требования к охране поверхностных вод", либо не были обнаружены (табл. 1).

Таблица 1. Значения концентраций загрязняющих веществ и других показателей в воде исследуемого объекта
Table 1. The values of the concentrations of pollutants and other indicators in the water of the investigated object

Показатель	Точка отбора проб (см. рисунок)												ПДК
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Концентрация, мг/л:													
NH ⁴⁺	0,7	0,9	0,9	0,3	0,3	0,9	0,3	0,9	0,3	0,4	0,3	0,3	0,5
NO ²⁻	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,56	0,00	0,00	0,42	0,00	0,00	0,08
NO ³⁻	1,25	1,21	1,29	1,21	0,99	0,81	0,83	0,65	1,27	0,57	0,67	1,34	4,00
PO ₄ ³⁻	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5
HCO ₃ ⁻	122	122	106,7	91,5	137,2	122	152,5	143,3	152,5	122	152,5	91,5	1000
SO ₄ ²⁻	16,66	20,33	18,29	20,65	22,22	22,65	22,06	20,84	21,65	20,08	20,53	19,28	100
Cl ⁻	2,47	2,83	2,47	2,99	2,97	3,01	3,02	2,71	3,19	2,88	3,03	2,80	300
Ca	36,9	42,6	38,8	41,9	42,9	48,2	48,1	41,7	40,9	38,4	34,9	35,6	180
Mg	9,98	11,47	10,47	11,2	11,65	12,35	12,51	11,2	11,08	10,39	9,67	9,75	40
K	1,48	1,61	1,5	1,52	1,53	1,96	1,96	1,52	1,51	1,38	1,35	1,35	50
Na	4,1	5,8	4,1	4,1	5,8	5,7	6,8	6,1	4,3	3,8	4,2	3,6	120
Cu	0,0047	0,0039	0,0028	0,0033	0,0025	0,0057	0,0072	0,0037	0,0034	0,0021	0,0018	0,0025	0,001
Cr	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,07
Zn	0,0144	0,0162	0,0155	0,0115	0,0105	0,0712	0,0886	0,0176	0,0090	0,0282	0,0051	0,0072	0,01
Ni	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003	0,004	0,000	0,000	0,035	0,000	0,000	0,010
Fe	0,3	0,4	0,3	0,1	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,1
Co	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
нефтепродуктов	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0215	0,0005	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
АПАВ	0,04	0,03	0,01	0,05	0,01	0,03	0,04	0,02	0,05	0,03	0,04	0,02	0,50
Растворенный кислород	6,4	6,1	6,3	5,9	6,4	6,0	6,5	6,5	6,4	6,5	6,4	6,3	>6,0
Взвешенные вещества	4,8	8,4	6,0	7,7	4,6	8,9	7,8	8,4	5,0	4,1	5,2	5,3	30
Общая минерализация	127,3	141,5	120,2	141,5	148,5	141,5	141,5	134,4	141,5	127,3	127,3	134,4	310
pH, ед. pH	7,7	7,4	7,6	7,7	7,6	7,6	7,5	7,7	7,5	7,6	7,6	7,5	6,5–8,5
Удельная электрическая проводимость, мксм/м	180	200	170	200	210	200	200	190	200	180	180	190	>10000
БПК ₅ , мгО ₂ /л	4,9	4,5	4,2	4,0	3,9	4,5	5,5	4,2	4,4	4,4	4,6	4,6	<2,1
ХПК, мгО ₂ /л	11,8	11,0	10,4	9,6	10,0	11,2	13,4	10,4	10,4	11,0	11,0	11,8	28

Примечание. Pb, Cd, As, Hg, V и фенолы в пробах не обнаружены.

Полученные концентрации были сопоставлены с ПДК загрязняющих веществ, установленными в соответствии с пунктом 1 постановления Правительства Российской Федерации от 28 июня 2008 г. № 484 "О порядке разработки и утверждения нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения".

Из полученных данных видно, что существует превышение концентраций некоторых веществ над ПДК (табл. 2).

Нитраты и аммоний поступают в атмосферу с выбросами от коксохимического производства, а в воду — со стоками по течению Рыбинского водохранилища от комбината к месту отбора проб, образующимися при очистке коксового газа от сероводорода. Обнаруженные тяжелые металлы — медь, цинк, никель и железо — поступают в окружающую среду со сбросами и выбросами техногенной пыли, образующейся при ферросплавном производстве [6].

Для оценки степени загрязнения воды исследуемого водохранилища был рассчитан показатель ИЗВ (индекс загрязнения вод). Данный показатель рассчитывался по формуле [7]:

Таблица 2. Фактические концентрации загрязняющих веществ в воде исследуемого объекта, превышающие нормативные значения, мг/л

Table 2. Actual concentrations of pollutants in the water of the investigated object, exceeding the standard values, mg/l

Загрязняющее вещество	Концентрация	ПДК
NH ⁴⁺	0,540	0,500
NO ²⁻	0,082	0,080
Cu	0,003	0,001
Zn	0,025	0,010
Ni	0,010	0,010
Fe	0,300	0,100

Таблица 3. Классы качества вод при разных значениях индекса загрязнения воды

Table 3. Water quality classes at different values of the water pollution index

Воды	Значения ИЗВ	Класс качества воды
Очень чистые	До 0,3	I
Чистые	Более 0,3 до 1,0	II
Умеренно загрязненные	Более 1,0 до 2,5	III
Загрязненные	Более 2,5 до 4,0	IV
Грязные	Более 4,0 до 6,0	V
Очень грязные	Более 6,0 до 10,0	VI
Чрезвычайно грязные	Более 10,0	VII

$$ИЗВ = (1/n) \sum_{i=1}^n C_i / ПДК_i,$$

где C_i — концентрация вещества; n — число показателей; $ПДК_i$ — предельно допустимая концентрация i -го вещества.

Согласно расчетам, ИЗВ = 2,1 и входит в диапазон более 1,0 до 2,5, в результате чего водам данного объекта можно присвоить III класс качества и охарактеризовать их как умеренно загрязненные (табл. 3).

Из результатов табл. 1 видно, что наибольшее загрязнение воды наблюдается в точках отбора проб № 1–3, 7–10. Точки № 7–10 располагаются в 500 м от берега, а № 1–3 — вдоль береговой линии.

Кроме того, обнаруженные в воде концентрации железа и меди превышают нормативные значения во всех точках отбора проб.

В связи с тем, что для донных отложений практически отсутствуют нормативы, регламентирующие содержание даже наиболее распространенных и токсичных загрязняющих веществ, для оценки их загрязненности предлагается использование фоновых значений содержания тяжелых

металлов в донных отложениях на данной территории [8].

Полученные в ходе исследования значения содержания веществ в донных отложениях исследуемой территории представлены в табл. 4.

Из табл. 4 видно, что содержание тяжелых металлов в донных отложениях, за исключением мышьяка, не превышает их фоновых концентраций [8]. Это связано с тем, что основная часть тяжёлых металлов, поступающих в водоём, седиментирует в илы, где адсорбируется в зависимости от минеральной природы ила. Илы водохранилища в точках отбора проб в основном представлены илистым песком, песчанистым серым и глинистым илами, имеющими среднюю ёмкость поглощения и низкое содержание глинистых минералов (<20 %), тогда как торфяные илы, находящиеся чуть дальше, проявляют более высокую сорбционную ёмкость.

Мышьяк поступает в водный объект со сбросами и выбросами в ходе ферросплавного производства вместе с железом, цинком и медью. Данный вид производства подразумевает вы-

плавку, охлаждение, очистку и сушку металла. Следует отметить, что нормативы для мышьяка в РФ сильно завышены по сравнению с европейскими, поэтому превышение фоновых значения в 1,4 раза не является опасным для исследуемой водной экосистемы [9].

Сточные воды, образующиеся в ходе таких работ, содержат примеси взвешенных веществ, обладают щелочной реакцией, содержат фенолы и различные металлы, включая вышеперечисленные [6].

Для оценки величины загрязнения донных отложений тяжёлыми металлами был рассчитан суммарный показатель загрязнения донных отложений Z_c согласно методике Ю.Е. Саета [10]. Данный показатель рассчитывается по формуле [7]:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n [(C_i - C_{\phi}) / C_{\phi}] + 1,$$

где C_i — концентрация загрязняющего вещества; C_{ϕ} — фоновое значение; n — число показателей.

Согласно расчетам, $Z_c = 3,0$. Полученное значение суммарного показателя загрязнения донных отложений меньше 10, что характеризует уровень загрязнения как слабый (табл. 5).

Заключение

В результате проведенного исследования в воде северной части Рыбинского водохранилища были обнаружены загрязняющие вещества, концентрации которых превышают предельно допустимые концентрации: максимальная концентрация аммония (точки пробо-

Таблица 4. Концентрации тяжелых металлов в донных отложениях исследуемой территории, мг/кг, а также значение pH

Table 4. Concentrations of heavy metals in bottom sediments of the study area, mg/kg, as well as pH

Показатель	Точка отбора проб (см. рисунок)												Фоновое значение
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Концентрация ТМ, мг/кг:													
SO ₄ ²⁻	32,7	19,5	5,6	10,7	14,6	4,1	17,6	7,1	22,2	13,2	53,2	8,7	160,0
Cr	6,0	5,2	7,0	5,8	4,2	4,3	4,9	6,3	6,3	5,6	6,8	6,6	15,0
Cd	0,03	0,05	0,09	0,05	0,01	0,01	0,06	0,08	0,14	0,06	0,07	0,08	0,50
Cu	4,5	3,1	4,1	5,3	2,7	2,9	3,3	6,3	4,8	3,9	4,6	3,6	8,0
Pb	2,7	2,1	3,8	1,5	1,9	1,6	2,8	2,9	5,9	1,4	2,6	4,5	9,0
Zn	21,1	11,6	30,5	19,2	13,0	13,9	20,0	16,7	30,9	19,9	24,3	23,5	33,0
Ni	4,8	3,0	4,8	4,8	3,1	2,8	2,9	5,6	5,0	4,5	5,0	4,5	13,0
As	0,6	1,3	1,3	0,5	0,8	0,4	1,8	0,9	1,8	0,7	0,5	1,4	1,3
Hg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1
pH, ед. pH	7,3	7,7	7,5	7,1	7,3	7,2	7,8	8,2	7,5	7,2	8,0	7,0	7,5

отбора № 2, 3, 6, 8) превышает ПДК в 1,8 раз, максимальная концентрация нитритов (точка пробоотбора № 7) — в 7 раз, максимальная концентрация меди (точка пробоотбора № 7) — в 7,2 раз, максимальная концентрация цинка (точка пробоотбора № 6) — в 7,1 раз, максимальная концентрация никеля (точка пробоотбора № 10) — в 3,5 раз, максимальная концентрация железа (точки пробоотбора № 2, 7) — в 4,0 раза.

Индекс загрязненности воды был рассчитан по вышеперечисленным показателям и составил 2,1, что характеризует воды как умеренно загрязненные.

Суммарный показатель загрязненности донных отложений

Таблица 5. Шкала оценки загрязнения донных отложений
Table 5. Assessment scale for bottom sediment pollution

Уровень загрязнения	Z _c токсичных элементов в донных отложениях	Содержание токсичных элементов в донных отложениях
Слабый	Менее 10	Слабо повышенные относительно фона
Средний	10–30	Повышенные относительно фона
Сильный	Более 30–100	Во много раз выше фона
Очень сильный	Более 100	Практически постоянное присутствие многих элементов в концентрациях выше фона

составил 3,0, что говорит о слабой степени загрязненности донных отложений.

Однако в связи с планируемым увеличением производительности завода, а также строительством целлюлозно-бумажного комбината, нагрузка на экосистему водо-

хранилища рыбохозяйственного назначения возрастет, в связи с чем металлургическому комбинату "Северсталь" рекомендуется пересмотреть и усовершенствовать работу промышленных фильтров для обезвреживания выбросов комбината и очистки сточных вод.

Публикация подготовлена при поддержке Российского университета дружбы народов Программы 5-100.

Литература

1. **Черная** металлургия России [Электронный ресурс]. URL: <https://sdelanounas.ru/blogs/104658> (дата обращения 20.05.2019).
2. **World Steel Association** [Электронный ресурс]. URL: <https://www.worldsteel.org> (дата обращения 10.04.2019).
3. **Череповецкий** металлургический комбинат [Электронный ресурс]. URL: <http://chemrk.severstal.com/> (дата обращения 10.06.2019)
4. **Рыбопромысловый** атлас Рыбинского водохранилища. Институт биологии внутренних вод СССР. Ярославль, Рыбинский промышленный трест, 1963. 134 с.
5. **Mikhaylichenko K.Y., Dorontsova A.Y., Maksimova O.A., Adarchenko I.A., Kurbatova A.I.** Determining the geochemical hazard of drinking water: Case studies from the Novogorsk and the Aprelevka districts, Moscow Region, Russia. Conference: 16th International Symposium on Water-Rock Interaction (WRI-16) and 13th International Symposium on Applied Isotope Geochemistry (1st IAGC International Conference). E3S Web of Conferences 98, 09019 (2019) doi.org/10.1051/e3sconf/20199809019 .
6. **Большина Е.П.** Экология металлургического производства: Курс лекций. Новотроицк, НФ НИТУ "МИСиС", 2012. 155 с.
7. **Глотова Н.В.** Мониторинг среды обитания: Учебное пособие к практическим занятиям. Челябинск, Изд-во ЮУрГУ, 2006. 22 с.
8. **Лукинова С.И.** Эколого-агронимическая характеристика почв сельскохозяйственных угодий Вологодской области. Научное обеспечение охраны окружающей среды и рационального использования: материалы научно-практической конференции. Вологда, 1997. С. 33–43.
9. **Курбатова А.И., Наянова Е.А.** Оценка фоновых концентраций загрязнения территории Наулского месторождения нефти. Сб. научн. Тр. XVII Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы экологии и природопользования». Ч. 1. М., 2015. С. 268–271.
10. **Сагт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др.** Геохимия окружающей среды. М., Недра, 1981. 335 с.

References

1. **Chernaya** metallurgiya Rossii [Elektronnyi resurs]. URL: <https://sdelanounas.ru/blogs/104658> (data obrashcheniya 20.05.2019).
2. **World Steel Association** [Elektronnyi resurs]. URL: <https://www.worldsteel.org> (data obrashcheniya 10.04.2019).
3. **Cherepovetskii** metallurgicheskii kombinat [Elektronnyi resurs]. URL: <http://chemrk.severstal.com/> (data obrashcheniya 10.06.2019)
4. **Rybpromyslovyy** atlas Rybinskogo vodokhranilishcha. Institut biologii vnutrennikh vod SSSR. Yaroslavl', Rybinskii promyshlennyi trest, 1963. 134 s.
5. **Mikhaylichenko K.Y., Dorontsova A.Y., Maksimova O.A., Adarchenko I.A., Kurbatova A.I.** Determining the geochemical hazard of drinking water: Case studies from the Novogorsk and the Aprelevka districts, Moscow Region, Russia. Conference: 16th International Symposium on Water-Rock Interaction (WRI-16) and 13th International Symposium on Applied Isotope Geochemistry (1st IAGC International Conference). E3S Web of Conferences 98, 09019 (2019) doi.org/10.1051/e3sconf/20199809019 .
6. **Bol'shina E.P.** Ekologiya metallurgicheskogo proizvodstva: Kurs lektzii. Novotroitsk, NF NITU "MISiS", 2012. 155 s.
7. **Glotova N.V.** Monitoring sredy obitaniya: Uchebnoe posobie k prakticheskim zanyatiyam. Chelyabinsk, Izd-vo Yu-UrGU, 2006. 22 s.
8. **Lukina S.I.** Ekologo-agronimicheskaya kharakteristika pochv sel'skokhozyaistvennykh ugodii Vologodskoi oblasti. Nauchnoe obespechenie okhrany okruzhayushchei sredy i ratsional'nogo ispol'zovaniya: materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii. Vologda, 1997. S. 33–43.
9. **Kurbatova A.I., Nayanova E.A.** Otsenka fonovykh kontsentratsii zagryazneniya territorii Naul'skogo mestorozhdeniya nefi. Sb. nauchn. Tr. XVII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Aktual'nye problemy ekologii i prirodopol'zovaniya». Ch. 1. M., 2015. S. 268–271.
10. **Saet Yu.E., Revich B.A., Yanin E.P. i dr.** Geokhimiya okruzhayushchei sredy. M., Nedra, 1981. 335 s.

K.Yu. Mikhaylichenko – канд. биол. наук, доцент, Российский университет дружбы народов, 117198 Россия, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая 6, e-mail: mikhaylichenko-kyu@rudn.university • А.И. Курбатова – канд. биол. наук, доцент, e-mail: kurbatova-ai@rudn.university • А.Ю. Доронцова – зав. лабораторией, e-mail: a.u.korshunova@yandex.ru • А.А. Паукова – магистр, e-mail: paualeksandra@yandex.ru

K.Yu. Mikhaylichenko – Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor, Peoples Friendship University of Russia (RUDN University), 117198 Russia, Moscow Miklukho-Maklaya Str. 6, e-mail: mikhaylichenko-kyu@rudn.university • A.I. Kurbatova – Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor, e-mail: kurbatova-ai@rudn.university • A.Yu. Dorontsova – Head of Laboratory, e-mail: a.u.korshunova@yandex.ru • A.A. Paukova – master, e-mail: paualeksandra@yandex.ru