



Оригинальная статья / Original article

УДК 504.4.054

DOI: 10.18470/1992-1098-2019-1-81-93

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ И ИСТОЧНИКОВ ПОСТУПЛЕНИЯ ИОНОВ МАРГАНЦА, МЕДИ, НИКЕЛЯ И АЛЮМИНИЯ В ТРАНСГРАНИЧНУЮ РЕКУ МИУС В ПЕРИОД С 2003 ПО 2017 ГОДЫ

^{1,2}Евгений В. Воробьев*, ²Елена В. Усова, ²Юлия В. Орехова

¹Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения,

Южный федеральный университет, Таганрог, Россия, vorobevev@sfedu.ru

²Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский
водохозяйственный центр», Ростов-на-Дону, Россия

Резюме. Цель. Трансграничные реки – достаточно сложный для изучения объект, требующий анализа не только самих загрязняющих компонентов, но и их географических особенностей, специфики хозяйственной деятельности. Работа посвящена изучению динамики загрязнения реки Миус ионами марганца, меди, никеля и алюминия с учетом особенностей регионов местонахождения реки и специфики антропогенной нагрузки на прилегающих к ней территориях. **Материал и методы.** В статье рассмотрены природные и антропогенные факторы, определяющие повышенное содержание ионов металлов в трансграничной р. Миус с учетом особенностей региона местонахождения. На основании данных мониторинга с 2003 по 2017 годы представлена динамика загрязнения рек алюминием, марганцем, медью и никелем, приведены среднемесячные данные за рассматриваемый период. **Результаты.** Выявлено, что загрязнение имеет годовую периодичность, которая зависит как от природных факторов, так и от развития металлургической промышленности, характерной для Донбасса. Для каждого металла указан его негативный эффект на здоровье человека и окружающую среду. **Заключение.** Наблюдается связь изменения концентраций рассматриваемых металлов между собой, что свидетельствует о преобладании антропогенного источника поступления металлов в р. Миус над природными.

Ключевые слова: тяжелые металлы, медь, марганец, алюминий, никель, загрязнение рек, трансграничная река, среднемесячная концентрация.

Формат цитирования: Воробьев Е.В., Усова Е.В., Орехова Ю.В. Анализ динамики и источников поступления ионов марганца, меди, никеля и алюминия в трансграничную реку Миус в период с 2003 по 2017 годы // Юг России: экология, развитие. 2019. Т.14, N1. С.81-93. DOI: 10.18470/1992-1098-2019-1-81-93

ANALYSIS OF DYNAMICS AND SOURCES OF MANGANESE, COPPER, NICKEL AND ALUMINUM IONS FOUND IN THE TRANS-BORDER MIUS RIVER DURING THE PERIOD FROM 2003 TO 2017

^{1,2}Evgeny V. Vorobyov*, ²Elena V. Usova, ²Yulia V. Orekhova

¹Institute of Nanotechnology, Electronics and Instrument Engineering,

Southern Federal University, Taganrog, Russia, vorobevev@sfedu.ru

²Russian Information – Analytical and Water Research Center, Rostov-on-Don, Russia



Abstract. Aim. Transboundary rivers are complex enough to study which requires analysis of not only the polluting agents themselves but also geographic features and specifics of economic activities. The work is devoted to the study of the dynamics of pollution of the Mius River with ions of manganese, copper, nickel and aluminum, taking into account the peculiarities of the regions through which the river flows and the specifics of the anthropogenic load on the adjacent territories. **Material and methods.** The article considers some natural and anthropogenic factors that determine the increased content of metal ions in the transboundary river Mius, taking into account the peculiarities of the territory of the river. Based on the monitoring data from 2003 to 2017, the dynamics of river pollution by aluminum, manganese, copper and nickel were presented; monthly averages for the period under review were also given. **Results.** It is revealed that pollution has an annual periodicity which depends on natural factors and metallurgical industry, characteristic of Donbass. The negative effect of these metals on human health and environment was indicated. **Conclusion.** There is a connection between changes in concentrations of the metals of concern, which indicates the predominance of the anthropogenic source of metals over natural in the Mius River.

Keywords: heavy metals, copper Cu, manganese Mn, aluminum Al, nickel Ni, river pollution, transboundary river, monthly average concentration.

For citation: Vorobyov E.V., Usova E.V., Orekhova Yu.V. Analysis of dynamics and sources of manganese, copper, nickel and aluminum ions found in the trans-border Mius river during the period from 2003 to 2017. *South of Russia: ecology, development*. 2019, vol. 14, no. 1, pp. 81-93. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2019-1-81-93

ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение водоемов – актуальная проблема, так как водные объекты, особенно проточные, не только являются рекреационными и рыбохозяйственными объектами, но и интенсивно переносят загрязнители на большие территории. Кроме того, большинство водоемов относится к хозяйственно-бытовому водопользованию.

Как отмечает ряд исследователей [1; 2], многие отрасли промышленности (нефтеперерабатывающая, химическая, черная и цветная металлургии, производство цемента, искусственного волокна) загрязняют культурные ландшафты свинцом, кадмием, медью, цинком, никелем и другими тяжелыми металлами. Загрязнение происходит как через поверхностные воды (сбросы в водоемы неочищенных и недоочищенных промышленных вод), так и через грунтовые (хранение твердых бытовых и промышленных отходов).

Река Миус протекает как по территории Украины, так и по территории России. Это обуславливает ее статус трансграничной реки. В настоящее время между этими государствами нет обязательной взаимной отчетности как о количестве сбросов, так и о мониторинговых исследованиях трансграничных объектов, что приводит к необходимости проведения регулярных мониторинговых работ каждой из стран. Актуальность мониторинга р. Миус несомненна, так как на территориях протекания реки располагается большое количество промышленных объектов, в первую очередь, металлургического и угледобывающего профиля.

Миус – полноводная река, впадающая в Азовское море и являющаяся источником питьевой воды для отдельных районов г. Таганрога. Кроме того, р. Миус – водный объект рыбохозяйственного назначения длиной 252 км и площадью водосбора – 7030 км². Среднегодовой расход воды составляет 12 м³/с (объем стока 0,379 км³/год). Река имеет извилистый характер. По Ростовской области р. Миус протекает около 60 км (четверть от общей протяженности). Долина р. Миус содержит скалы, утесы, крутые одиночные горы, цепи холмов по обе стороны реки (в пределах Донецкого кряжа), что оказывает некото-

рое влияние на солевой состав реки. Ниже слияния с р. Крынкой значительно увеличивает свою водность р. Миус. Питание реки поддерживается в первую очередь выходом многочисленных родников [3].

Целью работы является оценка содержания ионов металлов (медь, марганец, алюминий, никель) в воде р. Миус. Эти металлы представляют наибольший интерес в связи с высоким содержанием их ионов в воде. Они относятся к опасным токсикантам: медь и никель – III класс опасности, алюминий и марганец – IV класс опасности. Для осуществления оценки был проведен анализ мониторинговых данных за 2003-2017 гг., изучены особенности как антропогенной нагрузки на р. Миус, так и её специфика как природного объекта.

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ

Материалом для работы послужили исследования, проведенные с 2003 по 2017 гг. отделом исследования качества вод и аналитической деятельности ФГУ «Донводинформцентр». Отбор проб воды осуществлялся по р. Миус вблизи села Куйбышево (Ростовская область) на границе России и Украины (рис. 1). Пробы отбирались с января 2003 г. по декабрь 2017 г. на расстоянии 1,5-2,0 м от берега у поверхностного слоя 0,5 м, согласно ГОСТ [4] в стеклянные емкости и при необходимости проводилась их консервация. Определение количественного содержания катионов марганца, никеля, алюминия и меди в воде выполнялось в соответствии с методиками, включенными в государственный реестр методик количественного химического анализа (КХА) и оценки состояния объектов окружающей среды, допущенных для государственного экологического контроля и мониторинга [5-7]. Алюминий определялся фотометрическим методом с использованием алюминола, а медь, марганец и никель – при помощи атомно-абсорбционной спектроскопии.

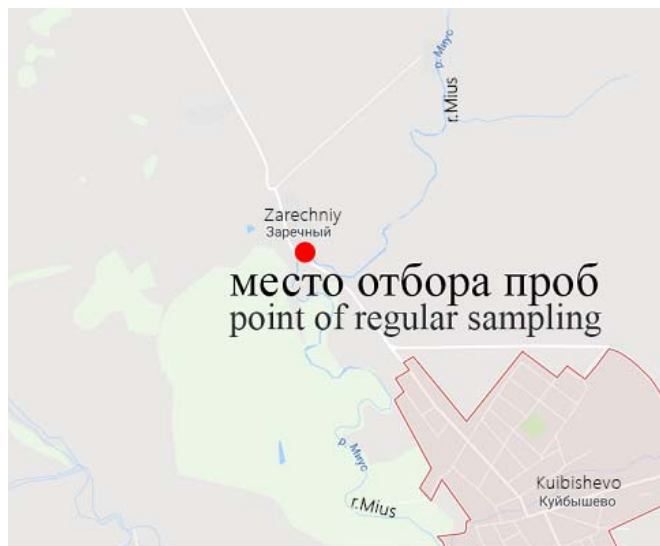


Рис.1. Расположение точки регулярного отбора проб вблизи села Куйбышево Ростовской области

Fig.1. The location of the site of regular sampling near the village of Kuibyshevo, Rostov region

Для комплексного анализа загрязнения водных объектов в нашей стране используется удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ) [8] с учетом «Перечня рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» [9].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ионы меди. Чаще всего ионы меди в природные воды попадают от предприятий цветной металлургии воды, из шахтных вод и от транспорта. Природным источником меди могут служить подземные воды, которые проходят через слои горных пород, содержащих этот металл [10; 11]. В итоге превышение ПДК меди наблюдается как вследствие попадания загрязненной воды вместе со стоками, осадками из атмосферы, так и в результате хозяйственной деятельности человека. В результате перехода в нерастворимые соединения медь может накапливаться в донных отложениях. Природные сорбенты (например, гуминовые кислоты, железомарганцевые оксиды) способствуют накоплению меди в донных отложениях. Обратный процесс (десорбция меди) может варьироваться в зависимости от ряда факторов: анионного состава воды, кислотности, присутствия хелатообразующих частиц [12].

Медьсодержащие вещества относят к III классу опасности [9]. Медь склонна к накоплению в некоторых органах человека и других млекопитающих – в мозговой ткани, в поджелудочной железе, печени. В больших концентрациях это приводит к болезни Вильсона [13].

Проведенные исследования показали, что в р. Миус содержание меди в 2-4 раза (в отдельные периоды в 5 и более раз) превышает предельно допустимые концентрации по рыбохозяйственным нормативам и составляет до $0,012 \text{ мг/м}^3$ (рис. 2).

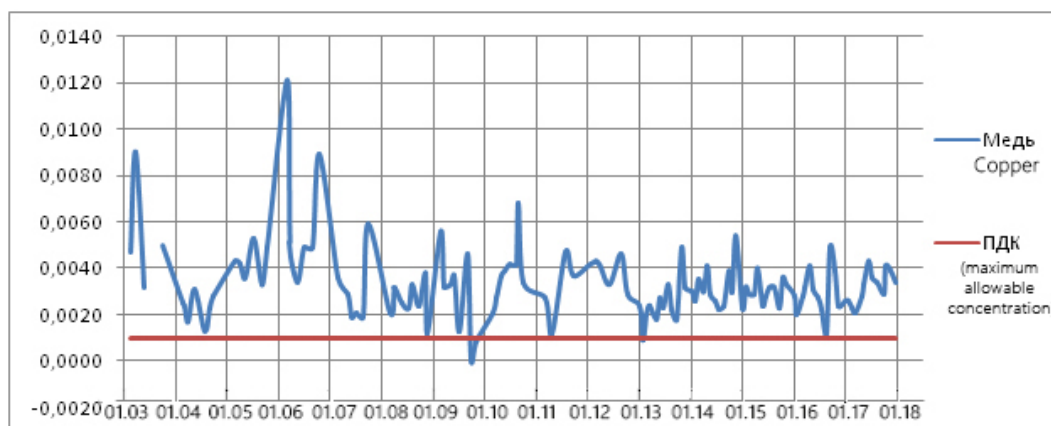


Рис.2. Динамика концентрации ионов меди (мг/дм^3) за период 2003-2017 гг.

(р. Миус, с. Куйбышево, граница России и Украины)

Fig.2. Dynamics of the concentration of copper ions (mg/dm^3) for the period of 2003-2017.

(Mius River, Kuibyshevo village, Russia and Ukraine border)

Четкой периодичности на протяжении 15 лет выявить не удастся, однако можно наблюдать схожую динамику в 2006-2007 гг. и 2013-2017 гг. В эти годы наибольшие значения содержания меди в воде наблюдаются в ноябре-декабре и составляют $0,009 \text{ мг/дм}^3$, а в летние месяцы концентрация заметно падает ($0,002 \text{ мг/дм}^3$). Такая периодичность может быть связана с физиологической ролью меди в окислительно-восстановительных процессах, протекающих в живых организмах, ее роли в процессе фотосинтеза. В теплые месяцы медь накапливается в живых организмах, в то время как после отмирания животных и растительных форм в холодные месяцы большое количество ее высвобождается. За наблюдаемый период были отмечены два резких повышения концентрации, что в зимние месяцы не может быть обусловлено природными факторами. Можно сделать предположение об антропогенных сбросах, содержащих рассматриваемые катионы.

Среднемесячный диапазон колебаний концентрации меди от $0,0028$ до $0,004 \text{ мг/дм}^3$. Наибольший разброс характерен для марта, апреля, сентября и октября. Наибольшие зна-

чения содержания меди в эти месяцы связаны с высвобождением ее из отмирающей растительности [2] и достигают максимума в марте 2006 года ($0,012 \text{ мг/дм}^3$) (рис. 3).

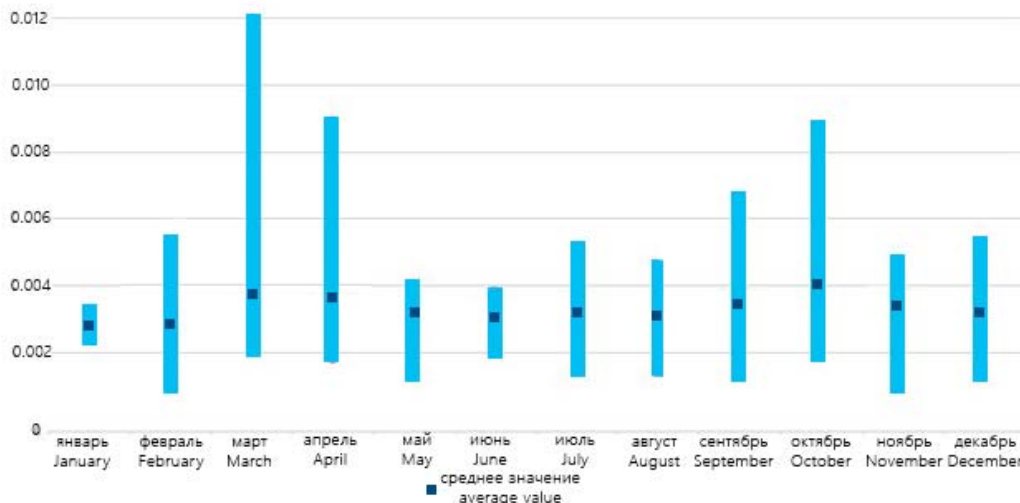


Рис.3. Среднемесячные значения и диапазон колебаний концентрации ионов меди в р. Миус (2003-2017 гг.)

Fig.3. Monthly mean values and the range of fluctuations in the concentration of copper ions in the river Mius (2003-2017)

Анализируя динамику концентрации меди можно сказать, что практически во всех случаях наблюдается превышение ПДК, в отдельных случаях – до 12 раз ($0,12 \text{ мг/дм}^3$). Такая концентрация не может быть обусловлена ни природными факторами, ни сельскохозяйственной деятельностью, ни сбросом коммунально-бытовых отходов. Основным фактором влияния в данном случае является металлургическая промышленность, характерная для изучаемого региона.

Ионы марганца. Выщелачивание железомарганцевых руд и других марганецсодержащих минералов (пирролюзит, манганит, псиломелан, браунит) – природная причина повышения концентрации марганца в речной воде [14]. Другим источником является разложение растительных и животных организмов, способных концентрировать марганец в процессе жизнедеятельности (сине-зеленые, диатомовые водоросли). Антропогенным источником соединений марганца являются сточные воды металлургических заводов, а также шахты и объекты химической промышленности вблизи водоемов [15]. Выбросы предприятий черной металлургии составляют в среднем 60% всех выбросов марганца, машиностроения и металлообработки – 23%, цветной металлургии – 9%. Природное содержание марганца в растениях, животных и почвах очень высоко. Марганец – металл, относящийся ко IV классу опасности [9].

Концентрация марганца в воде р. Миус подвержена сезонным колебаниям. Наблюдаются максимальные значения концентраций марганца в январе-феврале на протяжении практически всего рассматриваемого временного промежутка – от $0,06$ до $0,1 \text{ мг/дм}^3$. Так как марганец является биогенным элементом, то в летние месяцы концентрация падает, затем наблюдается постепенное повышение его содержания до максимальных значений в конце зимы ($0,1 \text{ мг/дм}^3$). Весеннее снижение содержания марганца в р. Миус до 1 ПДК ($0,01 \text{ мг/дм}^3$) может наблюдаться в результате развития флоры и фауны, сопровождающиеся связыванием рассматриваемого элемента в воде [11]. Максимальное значение концентрации марганца наблюдалось в марте 2003 года и составило $0,12 \text{ мг/дм}^3$, что в 12 раз превышает допустимую концентрацию (рис. 4).

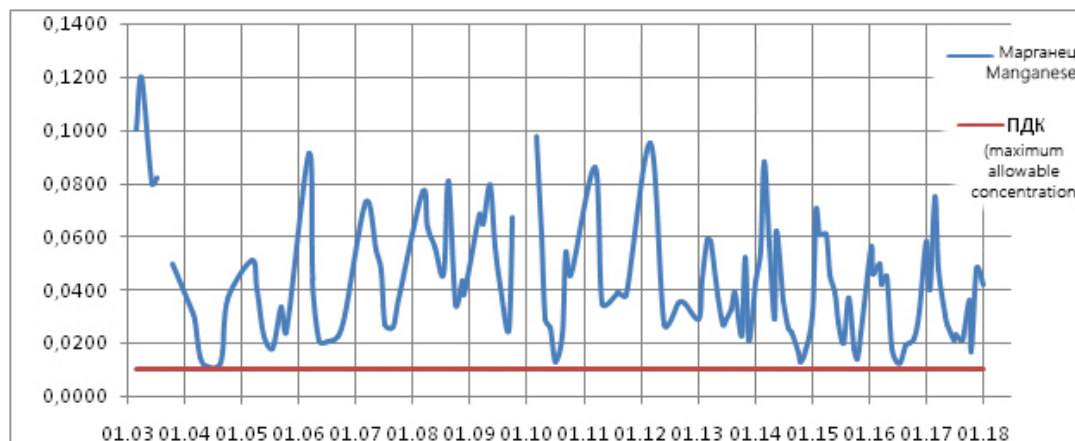


Рис.4. Динамика концентрации ионов марганца (mg/dm^3) за период 2003–2017 гг.
(р. Миус, с. Куйбышево, граница России и Украины)

Fig.4. Dynamics of the concentration of manganese ions (mg/dm^3) for the period of 2003–2017

(Mius River, Kuibyshevo village, Russia and Ukraine border)

В результате связывания живыми организмами концентрация марганца в летние месяцы уменьшается практически в 2 раза. При сравнении значений концентрации марганца в апреле наблюдается наибольший разброс за исследуемый промежуток времени в апреле от 0,012 до 0,12 mg/dm^3 . Максимальное значение среднемесячной концентрации отмечается в марте – 0,07 mg/dm^3 (рис. 5).

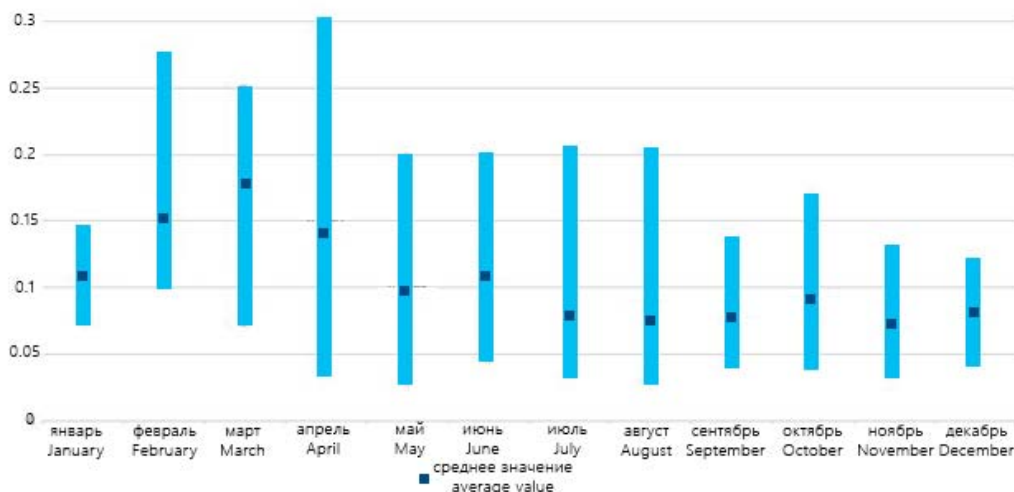


Рис.5. Среднемесячные значения и диапазон колебаний концентрации ионов марганца в р. Миус (2003–2017 гг.)

Fig.5. Monthly mean values and the range of fluctuations in the concentration of manganese ions in the river Mius (2003–2017)

По этой причине можно предположить, что факторами, определяющими изменения концентрации марганца, являются интенсивность потребления его при фотосинтезе, разложение фитопланктона, микроорганизмов и высшей водной растительности и, как следствие, переход марганца в растворимые формы из нерастворимых и наоборот.

Таким образом, наряду с высокими концентрациями марганца в воде р. Миус для данного металла характерна четкая периодичность, низкие концентрации и минимальный их разброс в холодные месяцы.

Ионы алюминия. Алюминий может поступать в речную воду как от природных источников (при взаимодействии с горными породами и почвами), так и от предприятий металлургической промышленности, консервных заводов. Алюминий в ионной форме взаимодействует с ионом ортофосфата с образованием нерастворимого фосфата алюминия, переходящего в донные отложения. В зависимости от кислотности алюминий в воде присутствует в различных формах. При низких pH преобладают ионы Al^{3+} , которые наиболее токсичны. Поэтому снижение pH воды часто приводит к гибели как животных, так и растительных форм жизни в водоеме [14; 16].

При рассмотрении влияния алюминия на здоровье человека отметим, что с возрастом происходит накопление его в организме. Существуют исследования, в которых ученые утверждают, что оказываемый алюминием вред на головной мозг может спровоцировать болезнь Альцгеймера [17].

Динамика количества ионов алюминия в р. Миус значительно меняется на рассматриваемом промежутке времени, однако в большинстве случаев колебания соответствуют значениям от 0,04 мг/дм³ до 1,3 мг/дм³ (рис. 6).

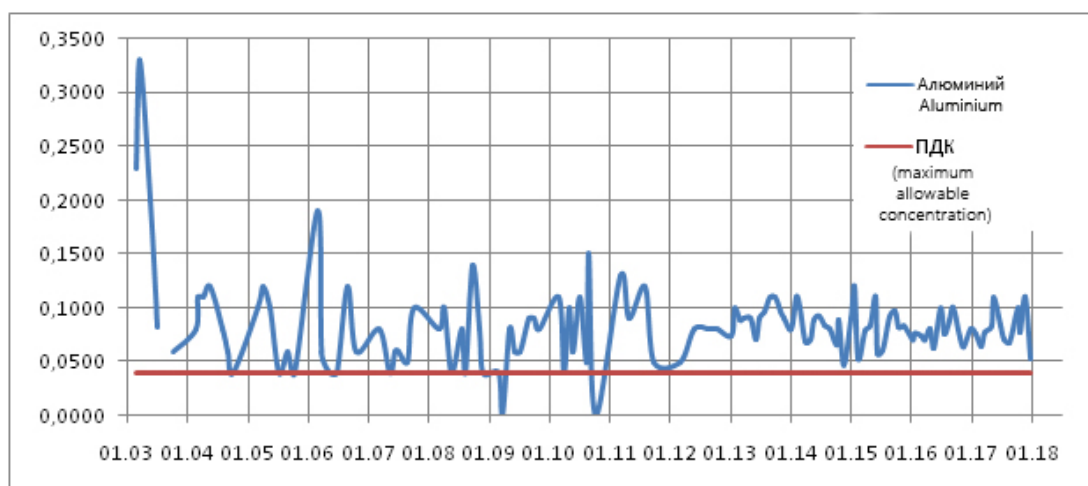


Рис. 6. Динамика концентрации ионов алюминия (мг/дм³) за период 2003-2017 гг.
(р. Миус, с. Куйбышево, граница России и Украины)

**Fig. 6. Dynamics of the concentration of aluminum ions (mg/dm³)
for the period of 2003-2017.**

(Mius River, Kuibyshevo village, Russia and Ukraine border)

При анализе графика можно выделить три периода:

2003-2006 гг. – резкие скачкообразные изменения с пиками в феврале-марте (март 2003 года – 0,33 мг/дм³, февраль 2006 года – 0,18 мг/дм³). Эти пики соответствуют самым большим повышением концентрации за рассматриваемый период.

2007-2012 гг. – диапазон колебаний уменьшается и носит беспорядочный характер (от практически полного отсутствия ионов алюминия до концентрации 0,15 мг/дм³).

В 2013-2017 гг. колебания происходят в узком диапазоне по сравнению с другими годами. Значения концентрации попадают, в основном, в диапазон от 0,05 мг/дм³ до 0,1 мг/дм³.

Как и для остальных элементов в весенние месяцы отмечается наибольший разброс концентраций и средних значений (с февраля по апрель) – от 0,4 мг/дм³ до 3,3 мг/дм³ (рис. 7).

Таким образом, можно отметить, что в большинстве случаев концентрация алюминия превышает значения ПДК в несколько раз. Природных источников поступления

большого количества алюминия не наблюдается, а значит загрязнителем, в первую очередь, является металлургическая промышленность Донбасса.

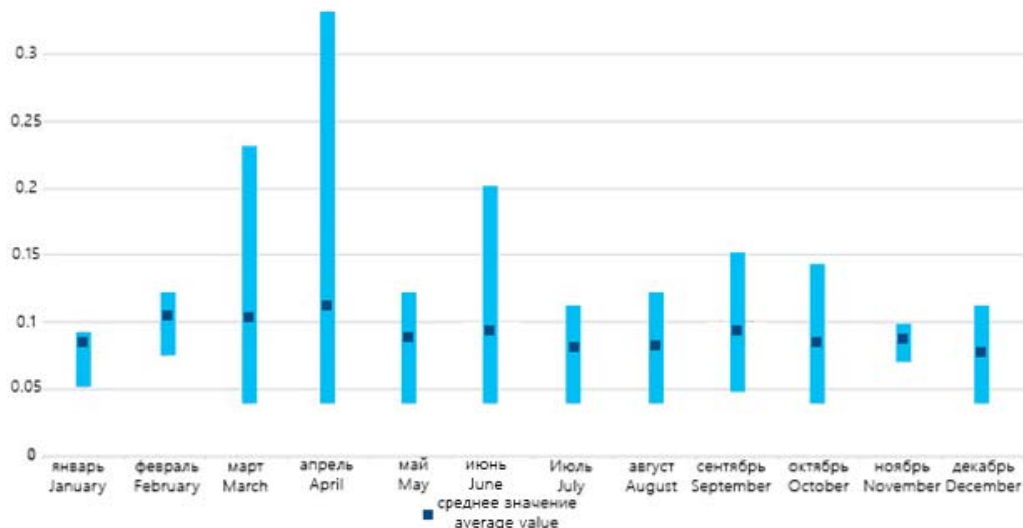


Рис. 7. Среднемесячные значения и диапазон колебаний концентрации ионов алюминия в р. Миус (2003-2017 гг.)

Fig. 7. Monthly mean values and the range of fluctuations of the concentration of aluminum ions in the river Mius (2003-2017)

Ионы никеля. Повышение содержания никеля в природной воде носит как антропогенный характер (сбросные воды при производстве синтетического каучука в процессах никелирования с предприятий цветной металлургии (97% всех антропогенных выбросов никеля), сжигание топлива), так и природный (никель может поступить в реки при разложении растений и животных). Сине-зеленые водоросли содержат рекордные количества никеля по сравнению с другими растительными организмами [14; 15].

Снижению концентрации никеля в природной воде может способствовать взаимодействие с сульфидами, карбонатами, цианидами, а также щелочная среда. Кроме того, уменьшение содержания никеля может происходить за счет поглощения природными адсорбентами или потребления животными и растениями.

Соединения никеля могут присутствовать в воде как в растворенном, так и во взвешенном состоянии. На это влияет состав воды, температура и кислотность. В роли сорбентов могут выступать глины [18].

Анализируя содержание никеля в исследуемой воде можно отметить, что в большинстве случаев, особенно до 2014 года, его концентрация превышает ПДК лишь в отдельно взятых пробах. Диапазон колебаний ионов никеля в воде р. Миус неравномерен в течение рассматриваемого диапазона времени – максимальные значения наблюдались в марте 2004 года и составляли $0,028 \text{ мг/дм}^3$, а минимальные в сентябре этого же года и составили $0,001 \text{ мг/дм}^3$. До 2012 года перепады концентраций никеля в течение года наиболее выражены и изменяются от $0,003$ до $0,011 \text{ мг/дм}^3$. За последние пять лет диапазон колебаний значительно уменьшается – от $0,008$ до $0,010 \text{ мг/дм}^3$ (рис. 8).

Похожая картина наблюдается и по содержанию меди, что может характеризовать антропогенную природу поступления этих элементов в р. Миус. В частности, эти соединения характерны для цветной металлургии.

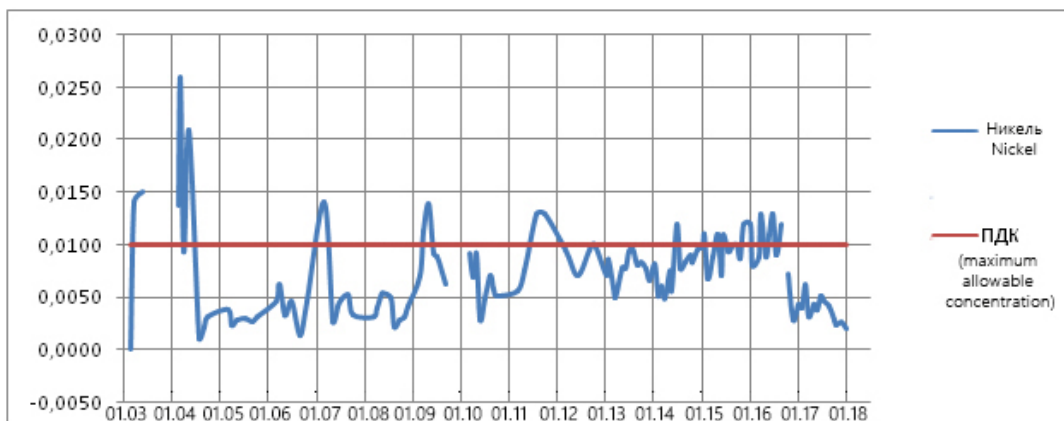


Рис.8. Динамика концентрации ионов никеля (mg/dm^3) за период 2003-2017 гг.
(р. Миус, с. Куйбышево, граница России и Украины)

Fig.8. Dynamics of nickel ion concentration (mg/dm^3) for the period of 2003-2017.
(Mius River, Kuibyshevo village, Russia and Ukraine border)

При анализе среднемесячных концентраций никеля можно отметить, что средние значения находятся между $0,006$ и $0,008 \text{ mg/dm}^3$, то есть разброс в течение года незначительный (максимальный разброс значений наблюдается в марте и колеблется в диапазоне от $0,0025$ до $0,028 \text{ mg/dm}^3$) (рис. 9). Это можно связать с температурным режимом – в ряде случаев в это время некоторые участки реки покрыты льдом, в другие годы – река освобождается ото льда и увеличивает свою водность.

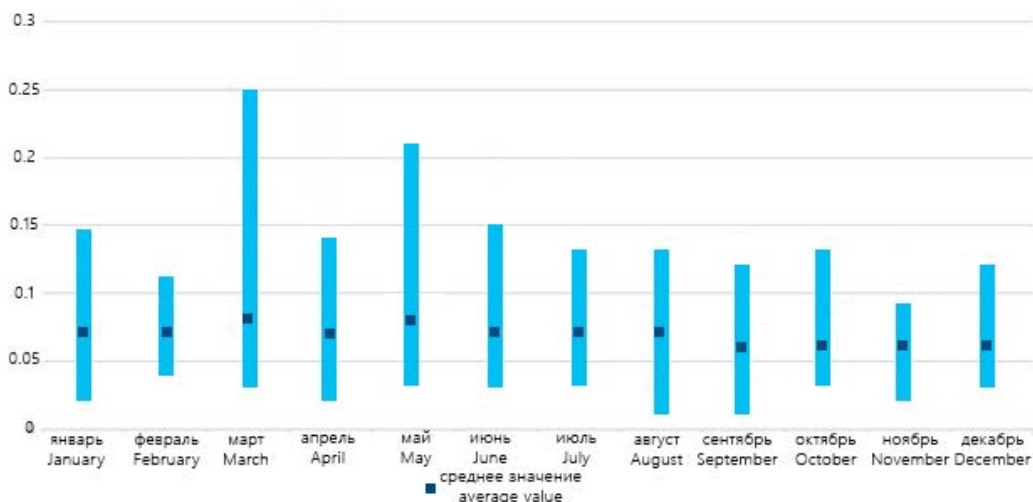


Рис.9. Среднемесячные значения и диапазон колебаний концентрации ионов никеля в р. Миус (2003-2017 гг.)

Fig.9. Monthly mean values and the range of fluctuations in the concentration of nickel ions in the river Mius (2003-2017)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При мониторинге динамики содержания рассматриваемых ионов в р. Миус можно заметить, что наибольшие значения концентрации приходятся на март 2003 года. Для меди, никеля и алюминия характерно уменьшение скачков концентраций, начиная с 2013 года. Динамика концентрации марганца отличается от динамики других металлов в виду



его вовлеченности в биологические процессы. Это может служить основой для выводов об общем источнике поступления изучаемых ионов металлов в р. Миус.

Подводя итоги можно отметить, что высокое содержание металлов в воде р. Миус является важной экологической проблемой, требующей детального изучения. Как показал проведенный анализ, на изменение концентрации этих элементов влияют биологические процессы (особенно для биогенного марганца), температурный режим и промышленные объекты, расположенные вблизи реки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Islam Md.S., Hossain M.B., Matin A., Sarke Md.Sh.I. Assessment of heavy metal pollution, distribution and source apportionment in the sediment from Feni River estuary, Bangladesh // *Chemosphere*. 2018. V. 202. P. 25-32. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.03.077
2. Sari E., Çağatay M.N., Acar D., Belivermiş M., Kiliç Ö., Arslan T.N., Tutay A., Kurt M.A., Sezer N. Geochronology and sources of heavy metal pollution in sediments of Istanbul Strait (Bosporus) outlet area, SW Black Sea, Turkey // *Chemosphere*. 2018. V. 205. P. 387-395. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.04.096
3. Миус. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D1%83%D1%81> (дата обращения: 22.05.2018)
4. ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2013. 63 с.
5. ПНД Ф 14.1:2.4.140-98 Методика измерений массовых концентраций бериллия, ванадия, висмута, кадмия, кобальта, меди, молибдена, мышьяка, никеля, олова, свинца, селена, серебра, сурьмы и хрома в пробах питьевых, природных и сточных вод методом атомно-адсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией. Москва. 1998 (издание 2013 г.). С. 1-22.
6. ПНД Ф 14.1:2.4.139-98 Методика измерений массовых концентраций кобальта, никеля, меди, цинка, хрома, марганца, железа, серебра, кадмия и свинца в пробах питьевых, природных и сточных вод методом атомно-адсорбционной спектроскопии. Москва. 1998 (издание 2010 г.). С. 1-17.
7. ПНД Ф 14.1:2.4.166-2000 Методика измерений массовой концентрации алюминия в пробах природных, очищенных сточных и питьевых вод методом фотометрическим методом с алюминолом. Москва. 2000 (издание 2004 г.). С. 1-18.
8. РД 52.24.643-2002 Метод комплексной оценки загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Ростов-на-Дону. 2002. С. 1-49.
9. Приказ Федерального агентства по рыболовству от 18 января 2010 г. № 20 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2070984/#ixzz5Mp8ivJow> (дата обращения: 23.05.2018)
10. Моисеенко Т.И., Кудрявцева Л.П., Гашкина Н.А. Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология. Москва: Наука, 2006. 261 с.
11. Васильченко О.В. Гидроэкология: особенности оценки качества вод. Москва: Инженерная экология, 2003. С. 2-25.
12. Farré M., Brix R., Barceló D. Screening water for pollutants using biological techniques under European Union funding during the last 10 years // *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2005. V. 24. Iss. 6. P. 532-545. Doi: 10.1016/j.trac.2005.03.008
13. Ciazela J., Siepak M., Wojtowicz P. Tracking heavy metal contamination in a complex river-oxbow lake system: Middle Odra Valley, Germany/Poland // *Science of The Total Environment*. 2018. V. 616-617. P. 996-1006. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.10.219
14. Мажайский Ю.А., Гусев Т.М. Тяжелые металлы в экосистемах водосборов малых рек. Москва: Изд-во МГУ, 2001. 138 с.



15. Никаноров А.М., Жулидов А.В., Покаржевский А.Л. Биомониторинг тяжелых металлов в пресноводных экосистемах. Липецк: Гидрометеиздат, 2005. 144 с.
16. Власов Б.П., Гигевич Г.С. Использование высших водных растений для оценки и контроля за состоянием водной среды. Методические рекомендации. Минск: БГУ, 2002. 84 с.
17. Mirza A., King A., Troakes C., Exley C. Aluminium in brain tissue in familial Alzheimer's disease // Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. 2017. V. 40. P. 30-36. Doi: 10.1016/j.jtemb.2016.12.001
18. Сагт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. Москва: Недра, 2000. 335 с.

REFERENCES

1. Islam Md.S., Hossain M.B., Matin A., Sarke Md.Sh.I. Assessment of heavy metal pollution, distribution and source apportionment in the sediment from Feni River estuary, Bangladesh. *Chemosphere*, 2018, vol. 202, pp. 25-32. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.03.077
2. Sari E., Çağatay M.N., Acar D., Belivermiş M., Kiliç Ö., Arslan T.N., Tutay A., Kurt M.A., Sezer N. Geochronology and sources of heavy metal pollution in sediments of Istanbul Strait (Bosporus) outlet area, SW Black Sea, Turkey. *Chemosphere*, 2018, vol. 205, pp. 387-395. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.04.096
3. Mius [Mius]. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D1%83%D1%81> (accessed 22.05.2018) (In Russian)
4. GOST 31861-2012. *Voda. Obshietrebovaniya k otboru prob.* [GOST 31861-2012. Water. General requirements for sampling]. Moscow, Standartinform Publ., 2013, 63 p. (In Russian)
5. PND F 14.1:2.4.140-98 *Metodika izmerenii massovykh kontsentratsii berilliya, vanadiya, vismuta, kadmiya, kobal'ta, medi, molibdena, mysh'yaka, nikelya, olova, svintsa, seleny, serebra, sur'my i khroma v probakh pit'evykh, prirodnykh i stochnykh vod metodom atomno-adsorbtsionnoi spektrometrii s elektrotermicheskoi atomizatsiei* [Measurement technique of mass concentration of beryllium, vanadium, bismuth, cadmium, cobalt, copper, molybdenum, arsenic, nickel, tin, lead, selenium, silver, antimony and chrome in tests drinking, natural and sewage by method of atomic and adsorptive spectrometry with electrothermal atomization]. Moscow, 1998, pp. 1-22. (In Russian)
6. PND F 14.1:2.4.139-98 *Metodika izmerenii massovykh kontsentratsii kobal'ta, nikelya, medi, tsinka, khroma, margantsa, zheleza, serebra, kadmiya i svintsa v probakh pit'evykh, prirodnykh i stochnykh vod metodom atomno-adsorbtsionnoi spektrometrii* [Measurement technique of mass concentration of beryllium, vanadium, bismuth, cadmium, cobalt, copper, molybdenum, arsenic, nickel, tin, lead, selenium, silver, antimony and chrome in tests drinking, natural and sewage by method of the atomic and adsorptive spectrometry with electrothermal atomization]. Moscow, 1998, pp. 1-17. (In Russian)
7. PND F 14.1:2.4.166-2000 *Metodika izmerenii massovoi kontsentratsii alyuminiya v probakh prirodnykh, ochishchennykh stochnykh i pit'evykh vod metodom fotometricheskimi metodami s alyuminolom* [Measurement technique of mass concentration of cobalt, nickel, copper, zinc, chrome, manganese, iron, silver, cadmium and lead in tests drinking, natural and sewage by method of the atomic and adsorptive spectrometry]. Moscow, 2000, pp. 1-18. (In Russian)
8. RD 52.24.643-2002. *Metod kompleksnoi otsenki zagryaznenosti poverkhnostnykh vod po gidrokhimicheskimi pokazatelyami* [RD 52.24.643-2002. Method of complex assessment of impurity of a surface water on hydrochemical indicators]. Rostov-on-Don, 2002, pp. 1-49. (In Russian)
9. *Prikaz Federal'nogo agentstva po rybolovstvu ot 18 yanvarya 2010 g. N 20 «Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh ob'ektov rybokhozyaistvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimykh kontsentratsii vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob'ektov rybokhozyaistvennogo znacheniya»* [The order of Federal Agency for Fishery of January 18, 2010 No. 20 "About the approval of standards of quality of water of water objects of fishery value, including standards of threshold limit values of harmful substances in waters of water objects of fishery value"]. Available



- ble at: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2070984/#ixzz5Mp8ivJow> (accessed 23.05.2018)
10. Moiseenko T.I., Kudryavtseva L.P., Gashkina N.A. *Rasseyannye elementy v poverkhnostnykh vodakh sushi: tekhnofil'nost', bioakkumulyatsiya i ekotoksikologiya* [Scattered elements in a surface water of sushi: tekhnofilnost, bio-accumulation and ecotoxicology]. Moscow, Nauka Publ., 2006, 261 p. (In Russian)
11. Vasil'chenko O.V. *Gidroekologiya: osobennosti otsenki kachestva vod* [Hydroecology: features of assessment of quality of waters]. Moscow, Inzhenernaya ekologiya Publ., 2003, pp. 2-25. (In Russian)
12. Farré M., Brix R., Barceló D. Screening water for pollutants using biological techniques under European Union funding during the last 10 years. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2005, vol. 24, iss. 6, pp. 532-545. Doi: 10.1016/j.trac.2005.03.008
13. Ciazela J., Siepak M., Wojtowicz P. Tracking heavy metal contamination in a complex river-oxbow lake system: Middle Odra Valley, Germany/Poland. *Science of the Total Environment*, 2018, vol. 616-617, pp. 996-1006. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.10.219
14. Mazhaiskii Yu.A., Gusev T.M. *Tyazhelye metally v ekosistemakh vodosborov malykh rek* [Heavy metals in ecosystems of reservoirs of the small rivers]. Moscow, Moscow State University Publ., 2001, 138 p. (In Russian)
15. Nikanorov A.M., Zhulidov A.V., Pokarzhevskii A.L. *Biomonitoring tyazhelykh metallov v presnovodnykh ekosistemakh* [Biomonitoring of heavy metals in freshwater ecosystems]. Lipetsk, Gidrometeoizdat Publ., 2005, 144 p. (In Russian)
16. Vlasov B.P., Gigeich G.S. *Ispol'zovanie vysshikh vodnykh rastenii dlya otsenki i kontrolya za sostoyaniem vodnoi sredy. Metodicheskie rekomendatsii* [Use of the higher water plants for assessment and control of a condition of the water environment. Methodical recommendations]. Minsk, Belarussian State University Publ., 2002, 84 p. (In Russian)
17. Mirza A., King A., Troakes C., Exley C. Aluminium in brain tissue in familial Alzheimer's disease. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2017, vol. 40, pp. 30-36. Doi: 10.1016/j.jtemb.2016.12.001
18. Saet Yu.E., Revich B.A., Yanin E.P. *Geokhimiya okruzhayushchei sredy* [Environment geochemistry]. Moscow, Nedra Publ., 2000, 33 p. (In Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Евгений В. Воробьев*, кандидат химических наук, доцент кафедры техносферной безопасности и химии, Южный федеральный университет, ул. Чехова, 2, г. Таганрог, 347922, Россия. Тел. +7(952)6001200, e-mail: vorobevev@sfedu.ru

Елена В. Усова, заведующая отделом исследования качества вод и аналитической деятельности, Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский водохозяйственный центр, г. Ростов-на-Дону, Россия, e-mail: usova.elena@list.ru

Юлия В. Орехова, ведущий аналитик отдела исследования качества вод и

AUTHOR INFORMATION

Affiliations

Eugeny V. Vorobyov*, Candidate of Chemistry, the associate professor of department of technosphere safety and chemistry, Southern Federal University, Chekhov street, 2, Taganrog, 347922, Russia. Phone: +7(952)6001200, e-mail: vorobevev@sfedu.ru

Elena V. Usova, Manager of department of a research of quality of waters and analytical activity, Russian information and analytical and research water management center, Rostov-on-Don, Russia, e-mail: usova.elena@list.ru

Yulia V. Orekhova, leading analyst of department of a research of quality of waters and



аналитической деятельности, Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский водохозяйственный центр, г. Ростов-на-Дону, Россия.

Критерии авторства

Усова Е.В. и Орехова Ю.В. собрали первичные данные и обработали их. Воробьев Е.В. проанализировал данные, написал рукопись. Все авторы в равной степени несут ответственность за плагиат и самоплагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 30.08.2018

Принята в печать 06.10.2018

analytical activity, Russian information and analytical and research water management center, Rostov-on-Don, Russia.

Contribution

Elena V. Usova and Yulia V. Orekhova collected and analyzed primary data. Eugeny V. Vorobyov analyzed the data, wrote the manuscript. All authors are equally responsible for avoiding the plagiarism and self-plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 30.08.2018

Accepted for publication 06.10.2018