

¹Ю.А. Тунакова, ²В.С. Валиев, ¹Е.В. Байбакова¹Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, juliaprof@mail.ru²Институт проблем экологии и недропользования АН РТ

УЧЕТ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ ПРИ РАСЧЕТЕ УДЕЛЬНОГО КОМБИНАТОРНОГО ИНДЕКСА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

В статье обоснована актуальность использования региональных пороговых концентраций загрязняющих веществ для учета природно-антропогенных особенностей химического состава воды поверхностных водных объектов при определении уровня их загрязненности. Приведены результаты расчета удельных комбинаторных индексов загрязненности воды (УКИЗВ) рек Республики Татарстан, полученные на основе предельно допустимых и статистически обоснованных региональных пороговых концентраций. Результаты оценки обобщенных индексов позволяют выделить ионы марганца и сульфатов в качестве веществ двойного генезиса, имеющих в основном природное происхождение. Использование пороговых значений позволяет значительно снизить вклад этих веществ в общий показатель загрязнения. Вклад таких показателей как нитраты, хлориды и ХПК при применении для расчета комбинаторных индексов пороговых значений, наоборот, возрастает, что может свидетельствовать о преимущественно антропогенном характере загрязнения.

Ключевые слова: поверхностные воды; гидрохимические показатели; вещества двойного генезиса; региональные пороговые концентрации; удельный комбинаторный индекс загрязненности воды.

DOI: <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2024.1.39.44>

Введение

Поверхностные воды представляют собой многокомпонентные, чрезвычайно динамичные системы открытого типа, поэтому объективная и всесторонняя оценка их качества требует системного подхода. Одним из основных факторов, влияющих на подобного рода оценку, является необходимость учета присутствующих в их составе веществ двойного генезиса, которые могут вносить значительный вклад в формирование качества воды, не будучи при этом антропогенными по происхождению (Емельянова и др., 1983; Замолодчиков, 1993; Гагарина, 2005; Латыпова и др., 2015; Иванов, 2021).

Известен широкий спектр работ, в которых предпринимаются попытки обосновать необходимость применения в качестве пороговых концентраций загрязняющих веществ в поверхностных водах их фоновые концентрации, характерные для того или иного речного бассейна (Нежиховский, 1990; Белоногов, Торсуев, 1996; Мусихина, 2001; Левич и др., 2011; Селезнёв и др., 2013; Иванов, 2021 и др.).

В настоящее время в целях комплексной оценки загрязненности поверхностных вод

используется расчет удельного комбинаторного индекса загрязненности вод (УКИЗВ) (РД 52.24.643–2002). Расчеты УКИЗВ предназначены для обработки и обобщения информации о химическом составе поверхностных вод с целью получения комплексной оценки степени их загрязненности даже при ограниченном или специфическом наборе анализируемых показателей. Оценка качества воды с использованием УКИЗВ не всегда дает объективный результат по нескольким причинам, в том числе потому, что в расчетах применяются рыбохозяйственные и санитарно-гигиенические ПДК, не учитывающие региональные особенности исследуемых водных объектов.

Целью данной работы является обоснование применения региональных пороговых концентраций при расчете удельного комбинаторного индекса загрязненности вод (УКИЗВ) на примере водных объектов Республики Татарстан.

Материалы и методы исследования

Для исследования использовались данные мониторинга качества поверхностных вод Республики Татарстан (РТ), осуществляемого Ми-

нистерством экологии и природных ресурсов РТ, за период с 2014 по 2021 гг. Пробы отбирались ежемесячно в 12 пунктах наблюдений: р. Волга, 4,7 км ниже г. Казани; р. Волга, выше г. Зеленодольск; р. Волга, г. Казань, 1 км выше водозабора; р. Волга, с. Кызыл Байрак; р. Казанка, 3-я транспортная дамба; р. Казанка, с. Усады; р. Кама, с. Сорочьи Горы; р. Меша, с. Карадули; р. Меша, с. Узьяк; р. Свияга, мост на автодороге М-7; р. Сулица, с. Савино; р. Ашит, с. Алан-Бексер. Общее количество проанализированных проб – 353.

Перечень из 24 контролируемых показателей качества вод включал: алюминий, аммоний ион, БПК₅, взвешенные вещества, гидрокарбонаты, железо, общая жесткость, кальций, кислород растворенный, магний, марганец, медь, нефтепродукты, никель, нитраты, нитриты, общая минерализация, сульфаты, фенолы, фосфаты, ХПК, хлориды, цинк, электропроводность.

Методом нейросетевой кластеризации выделяли наблюдения с однотипными значениями гидрохимических показателей. Проведенный факторный анализ показал, что значения минерализации, общей жесткости, кальция, магния, сульфатов и гидрокарбонатов являются первичными критериями классификации вод, а значения хлоридов, нитратов, марганца и ХПК – вторичными (вспомогательными) критериями.

Выделенные критерии послужили основой для характеристики классов вод, отнесенных к тому или иному кластеру:

Кластер 0 – Класс воды I: Гидрокарбонатная кальциево-магниевая, умеренной жесткости, умеренной минерализации, с повышенным содержанием ионов марганца;

Кластер 1 – Класс воды II: Гидрокарбонатная кальциево-магниевая, умеренной жесткости, умеренной минерализации, с умеренным содержанием ионов марганца;

Кластер 2 – Класс воды III: Гидрокарбонатная кальциево-магниевая, умеренной жесткости, слабоминерализованная, с умеренным содержанием ионов марганца;

Кластер 3 – Класс воды IV: Гидрокарбонатная кальциево-магниевая, высокой жесткости, высокой минерализации, с повышенным содержанием ионов марганца и сульфатов;

Кластер 4 – Класс воды V: Гидрокарбонатная кальциево-магниевая, высокой жесткости, высокой минерализации, с высоким содержанием сульфатов;

Кластер 5 – Класс воды VI: Гидрокарбонатная кальциево-магниевая, низкой жесткости, слабо-

минерализованная, с низким содержанием ионов марганца.

По каждой выборке проведен статистический анализ распределений вариационных рядов гидрохимических показателей, оценены их медианы и квартильные размахи. Значения нижнего и верхнего квартиля (25–75% распределения) предложено использовать в качестве пороговых значений (Тунакова и др., 2021; Tunakova et al., 2023) (табл. 1). Рассчитанные таким образом пороговые концентрации применялись для расчета УКИЗВ.

УКИЗВ рассчитывали для каждого выделенного класса вод двумя способами: 1) с использованием для всех показателей в качестве порогов значения ПДК и 2) с использованием определенных для каждого класса вод порогов для компонентов двойного генезиса и ПДК – для всех остальных.

Результаты и их обсуждение

Анализ полученных результатов показал, что исследуемые воды относятся к «очень загрязненным» 3б класса и «грязным» 4а класса (табл. 2).

В таблице 3 представлены значения обобщенных индексов типизирующих показателей, полученные с использованием ПДК и пороговых значений, для каждого типа вод.

Результаты оценки обобщенных индексов позволяют выделить марганец и сульфаты в качестве веществ двойного генезиса, имеющих в основном природное происхождение. Использование пороговых значений вместо ПДК позволяет значительно снизить вклад этих веществ в общий показатель загрязнения. Вклад таких показателей как нитраты, хлориды и ХПК при использовании в расчетах пороговых значений, наоборот, возрастает, что может свидетельствовать о преимущественно антропогенном характере загрязнения. Таким образом, классифицирующие показатели корректируют оценку поверхностных вод, отражающую природно-антропогенные условия формирования их качества.

Если рассматривать значения УКИЗВ, полученные на основе пороговых значений, в сравнении с индексами, рассчитанными с использованием только ПДК, то можно заметить, что показатели, завышающие комбинаторный индекс (марганец, сульфаты) и занижающие его (нитраты, хлориды), при использовании расчета УКИЗВ с учетом пороговых значений разных типов вод, имеют сбалансированные веса (обобщенные индексы), что позволяет рассчитать более адекватные значения УКИЗВ, сохраняя общую характеристику классов качества (табл. 2).

Таблица 1. Пороговые значения гидрохимических показателей
Table 1. Threshold values of hydrochemical indicators

Показатели Indicators	I класс / I class		II класс / II class		III класс / III class	
	Нижний порог Lower threshold	Верхний порог Upper threshold	Нижний порог Lower threshold	Верхний порог Upper threshold	Нижний порог Lower threshold	Верхний порог Upper threshold
<i>Первичные</i>						
Минерализация, мг/л	600	672	503	580	407	480
Жесткость, °Ж	7.0	8.1	6.1	7.1	4.5	6.2
Кальций, мг/л	104	123	90	100	66	78.5
Магний, мг/л	20.2	28.8	14.3	26.1	13.6	23.9
Сульфаты, мг/л	97	151	14	109	15	88
Гидрокарбонаты, мг/л	309	363	291	389	184	327
<i>Вторичные</i>						
Нитраты, мг/л	1.5	9.6	1.7	4.8	0.7	5.8
Хлориды, мг/л	10	16.2	10.1	15.6	9.1	19.1
Марганец, мг/л	0.032	0.187	0.022	0.065	0.028	0.065
ХПК, мг/л	9.9	23.0	10.7	20.7	15.4	22.1
IV класс / IV class		V класс / V class		VI класс / VI class		
<i>Первичные</i>						
Минерализация, мг/л	750	910	1080	1410	113.5	283
Жесткость, °Ж	9.0	11.5	13.8	17.2	1.2	3.2
Кальций, мг/л	137	172	209	266	19	49
Магний, мг/л	23.6	36.6	28.1	51.0	3.1	9.7
Сульфаты, мг/л	197	325	499	668	7	58
Гидрокарбонаты, мг/л	303	363	279	351	70	137
<i>Вторичные</i>						
Нитраты, мг/л	2.0	8.3	0.4	8.5	0.7	2.4
Хлориды, мг/л	13.7	19.2	17.9	23.7	5.3	13.4
Марганец, мг/л	0.030	0.138	0.027	0.215	0.009	0.030
ХПК, мг/л	8.6	18.5	9.6	24.1	13.8	30.9

Для всех классов вод УКИЗВ, рассчитанный с использованием ПДК, имеет критические показатели загрязненности (КПЗ), тогда как при использовании региональных порогов КПЗ практически нет. Класс качества вод при учете КПЗ не меняется.

Заключение

Методом нейросетевой кластеризации проведена оценка совокупности гидрохимических параметров и выделены классифицирующие показатели, которые отображают природные и антропогенные особенности вод речных бассейнов, расположенных на территории Республики Татарстан. Выделено 6 классов вод, для которых установлены региональные пороговые значения

минерализации, жесткости, кальция, магния, гидрокарбонатов, хлоридов, сульфатов, нитратов, ХПК и хлоридов. Показано, что использование региональных пороговых концентраций при расчетах комплексных показателей загрязненности поверхностных вод позволяет устранить завышение значений УКИЗВ, обусловленных повышенными фоновыми концентрациями веществ двойного генезиса, а также устанавливать более оправданные нормативы допустимого сброса загрязняющих веществ в водные объекты.

Научные исследования проведены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках исполнения обязательств по Соглашению №075-03-2023-032 от 16.01.2023 г. (номер темы FZSU-2023-0005).

Таблица 2. Удельные комбинаторные индексы загрязненности воды, рассчитанные по ПДК и с использованием пороговых значений
 Table 2. Specific combinatorial indices of water pollution calculated according to maximum permissible concentrations and using threshold values

Классы Classes	Алгоритмы расчета Calculation algorithm	Класс качества вод Water quality class	УКИЗВ SCIWP	КПЗ CPI
I	по ПДК	Грязная 4а класса	4.8	КПЗ=2
	по пороговым значениям	Грязная 4а класса	4.6	-
II	по ПДК	Грязная 4а класса	4.1	КПЗ=1
	по пороговым значениям	Грязная 4а класса	4.5	-
III	по ПДК	Очень загрязненная 3б класса	3.6	КПЗ=1
	по пороговым значениям	Грязная 4а класса	4.1	-
IV	по ПДК	Грязная 4а класса	4.1	КПЗ=1
	по пороговым значениям	Очень загрязненная 3б класса	4.0	-
V	по ПДК	Грязная 4а класса	4.6	КПЗ=1
	по пороговым значениям	Грязная 4а класса	4.1	-
VI	по ПДК	Грязная 4а класса	4.0	КПЗ=2
	по пороговым значениям	Грязная 4а класса	4.6	КПЗ=1

Примечание: прочерк означает отсутствие КПЗ.

Note: a dash means the absence of a critical contamination indicator; SCIWP – specific combinatorial index of water pollution; CPI – critical pollution indicators.

Таблица 3. Обобщенные индексы ($S_{об}$) репрезентативных показателей, рассчитанные по ПДК и с использованием пороговых значений
 Table 3. Generalized indices ($S_{об}$) of representative indicators calculated according to maximum permissible concentrations (MPC) and using regional threshold values

Показатели Indicators	I класс / I class		II класс / II class		III класс / III class	
	по ПДК by MPC	по пороговым значениям by threshold	по ПДК by MPC	по пороговым значениям by threshold values	по ПДК by MPC	по пороговым значениям by threshold values
Сульфаты	5.6	2.9	4.0	3.3	0	2.8
Нитраты	0	3.4	0	4.2	0	3.9
Хлориды	0	3.3	0	5.5	0	5.4
Марганец	12.3	4.0	10.9	5.9	12.0	6.4
ХПК	3.0	4.0	2.5	3.8	2.3	3.5
	IV класс / IV class		V класс / V class		VI класс / VI class	
Сульфаты	8.3	3.1	9.7	2.8	0	3.4
Нитраты	0	3.5	0	3.5	0	5.1
Хлориды	0	3.1	0	3.3	0	4.5
Марганец	12.2	5.5	12.5	4.1	9.2	5.8
ХПК	0	3.4	2.9	3.8	3.9	3.7

Список литературы

1. Белоногов В.А., Торсуев Н.П. Подходы к нормированию качества воды на основе многолетних наблюдений // Современная география и окружающая среда. Казань, 1996. С. 76–78.
2. Гагарина О.В. Обзор методов комплексной оценки качества поверхностных вод // Вестник Удмуртского университета. Серия: Биология, науки о Земле. 2005. №11. С. 45–58.
3. Емельянова В.П., Данилова Г.Н., Колесникова Т.Х. Оценка качества поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям // Гидрохимические материалы. Л.: Гидрометеониздат, 1983. Т. 88. С. 119–129.
4. Замолодчиков Д.Г. Оценки экологически допустимых уровней антропогенного воздействия на пресноводные экосистемы // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 1993. Т. 15. С. 214–233.
5. Левич А.П., Булгаков Н.Г., Максимов В.Н., Рисник Д.В. «IN-SITU»-технология установления локальных экологических норм // Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценки состояния водоемов / Материалы объединенного пленума научного совета ОБН РАН по гидробиологии и ихтиологии, Гидробиологического общества при РАН и Межведомственной ихтиологической комиссии. М.: Т-во научных изданий КМК, 2011. С. 32–57.
6. Мусихина Т.А. Региональные нормативы содержания химических элементов в поверхностных водах // Экология и промышленность России. 2001. №5. С. 26–28.
7. Нежиховский Л.А. Гидролого-экологические основы водного хозяйства. Л.: Гидрометеониздат. 1990. 229 с.
8. РД 5254–643–2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям.
9. Селезнёв В.А., Селезнёва А.В., Беспалова К.В. Разработка бассейновых нормативов качества воды (на примере водных объектов нижней Волги) // Водное хозяйство России. 2013. №2. С. 42–53.
10. Латыпова В.З., Никитин О.В., Степанова Н.Ю., Шакирова Ф.М., Удачин С.А., Шагидуллин Р.Р., Иванов Д.В., Яковлева О.Г., Мухаметшина Е.Г. Качество поверхностных вод Куйбышевского водохранилища в условиях различной водности // Российский журнал прикладной экологии. 2015. №4. С. 25–32.
11. Иванов Д.В. Фоновое содержание загрязняющих веществ как мера нормирования качества природных сред (обзор) // Российский журнал прикладной экологии. 2021. №4. С. 55–66. <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2021.4.55.66>.
12. Тунакова Ю.А., Новикова С.В., Байбакова Е.В., Валиев В.С. Методология определения региональных пороговых концентраций для расчёта нормативов допустимого сброса жидких производственных отходов в поверхностные воды // Теоретическая и прикладная экология. 2021. №4. С. 28–33. doi: 10.25750/1995-4301-2021-4-028-033.
13. Янин Е.П., Кузьмич В.Н., Иваницкий О.М. Региональная природная неоднородность химического состава вод суши и необходимость ее учета при оценках их экологического состояния и интенсивности техногенного загрязнения // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. М., 2012. Вып. 6. С. 3–72.
14. Tunakova Y., Novikova S., Valiev V., Baibakova E., Novikova K. The Use of neural network modeling methods to determine regional threshold values of hydrochemical indicators in the environmental monitoring system of waterbodies // Sensors. 2023. Vol. 23. 6160. <https://doi.org/10.3390/s23136160>.
15. kachestva vody na osnove mnogoletnikh nablyudenij [Approaches to water quality normalization on the basis of multi-year observations] // Sovremennaya geografiya i okruzhayushchaya sreda [Modern geography and the environment]. Kazan, 1996. P. 76–78.
16. Gagarina O.V. Obzor metodov kompleksnoj ocenki kachestva poverkhnostnykh vod [Review of methods of integrated assessment of surface water quality] // Vestnik Udmurtskogo universiteta. Ser.: Biologiya, nauki o Zemle [Bulletin of Udmurt University. Series: Biology, Earth Sciences]. 2005. No 11. P. 45–58.
17. Emel'yanova V.P., Danilova G.N., Kolesnikova T.Kh. Ocenka kachestva poverkhnostnykh vod sushi po gidrokhimicheskim pokazatelyam [Assessment of the quality of surface waters of the land by hydrochemical indicators] // Hydrochemical materials. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1983. Vol. 88. P. 119–129.
18. Zamolodchikov D.G. Ocenki ehkologicheskii dopustimyykh urovnej antropogennogo vozdejstviya na presnovodnye ehkositemy [Assessments of ecologically acceptable levels of anthropogenic impact on freshwater ecosystems] // Problemy ehkologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ehkositem [Problems of ecological monitoring and ecosystem modeling]. 1993. Vol. 15. P. 214–233.
19. Levich A.P., Bulgakov N.G., Maksimov V.N., Risnik D.V. «IN-SITU»-tekhnologiya ustanovleniya lokal'nykh ehkologicheskikh norm [«IN-SITU»-tekhnologiya ustanovleniya lokal'nykh ehkologicheskikh norm] // Issues of environmental regulation and development of a system for assessing the condition of reservoirs. Moscow, 2011. P. 32–57.
20. Musikhina T.A. Regional'nye normativy soderzhaniya khimicheskikh ehlementov v poverkhnostnykh vodakh [Regional standards for the content of chemical elements in surface waters] // Ehkologiya i promyshlennost' Rossii [Ecology and industry of Russia]. 2001. No 5. P. 26–28.
21. Nezhikhovskij L.A. Gidrologo-ehkologicheskie osnovy vodnogo khozyajstva [Hydrological and ecological foundations of waer management]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1990. 229 p.
22. RD 52.24.643–2002. Metodicheskie ukazaniya. Metod kompleksnoj ocenki stepeni zagryaznennosti poverkhnostnykh vod po gidrokhimicheskim pokazatelyam. [Methodological guidelines. A method for the comprehensive assessment of the degree of contamination of surface waters by hydrochemical indicators].
23. Seleznyov V.A., Seleznyova A.V., Bepalova K.V. Razrabotka bassejnovykh normativov kachestva vody (na primere vodnykh ob"ektov nizhnej Volgi) [Development of basin water quality standards (using the example of water bodies of the Lower Volga)] // Vodnoe hozyajstvo Rossii [Russian water industry]. 2013. No 2. P. 42–53.
24. Latypova V.Z., Nikitin O.V., Stepanova N.Y., Shakirova F.M., Udachin S.A., Shagidullin R.R., Ivanov D.V., Yakovleva O.G., Mukhametshina E.G. Quality of surface waters of the Kuibyshev reservoir under conditions of different water content // Rossijskij zhurnal prikladnoj ekologii [Russian journal of applied ecology]. 2015. No 4. С. 25–32.
25. Ivanov D.V. Background content of pollutants as a measure of natural environment quality normalization (review) // Rossijskij zhurnal prikladnoj ekologii [Russian journal of applied ecology]. 2021. No 4. С. 55–66. <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2021.4.55.66>.
26. Tunakova Yu.A., Novikova S.V., Bajbakova E.V., Valiev V.S. Metodologiya opredeleniya regional'nykh porogovykh koncentracij dlya raschyota normativov dopustimogo sbrosa zhidkikh proizvodstvennykh otkhodov v poverkhnostnye vody [Methodology for determining regional threshold concentrations for calculating standards for permissible discharge of liquid in-

References

1. Belonogov V.A., Torsuev N.P. Podkhody k normirovaniyu

dustrial waste into surface waters] // Теоретическая и прикладная экология [Theoretical and applied ecology]. 2021. No 4. P. 28–33. doi: 10.25750/1995-4301-2021-4-028-033.

13. Yanin E.P., Kuz'mich V.N., Ivanickij O.M. Regional'naya prirodnyaya neodnorodnost' khimicheskogo sostava vod sushi i neobkhodimost' ee ucheta pri ocnenkakh ikh ekhologicheskogo sostoyaniya i intensivnosti tekhnogenogo zagryazneniya [Regional natural heterogeneity of the chemical composition of land waters and the need to take it into account when assessing their ecological status and the intensity of man-made pollution] // Problemy okruzhayushchej sredy i prirodnykh resursov [Environmental and natural resource issues]. Moscow, 2012. Vol. 6. P. 3–72.

14. Tunakova Y., Novikova S., Valiev V., Baibakova E., Novikova K. The Use of neural network modeling methods to determine regional threshold values of hydrochemical indicators in the environmental monitoring system of waterbodies // Sensors. 2023. Vol. 23. 6160. <https://doi.org/10.3390/s23136160>.

Tunakova Yu.A., Valiev V.S., Baibakova E.V. **Accounting the natural-anthropogenic features of hydrochemical indicators distribution when calculating specific combinatorial index of surface water pollution.**

The article substantiates the relevance of using regional threshold concentrations of potential pollutants when we record natural and anthropogenic features of hydrochemical composition of water bodies

to determine the level of their pollution by the method of integrated assessment of hydrochemical indicators. The results of calculation of specific combinatorial indices of water pollution (SCIWPI) for rivers of the Republic of Tatarstan, carried out on the basis of the approved maximum permissible concentrations (MPC) of hydrochemical indicators for water bodies of fishery purpose and mathematically justified regional threshold concentrations are presented. The results of assessment of generalized indices allow to highlight manganese and sulfate ions as substances of double genesis, which have mainly natural origin. The use of their threshold values instead of MPC allows to significantly decline the contribution of these substances to the generalized pollution index. On the contrary, the contribution of such indicators as nitrates, chlorides and chemical oxygen demand increases when we use threshold values for calculating combinatorial indices. The latter can indicate the predominantly anthropogenic nature of pollution in this case.

Keywords: surface waters; hydrochemical indicators; substances of dual genesis; regional threshold concentrations; specific combinatorial index of water pollution.

Раскрытие информации о конфликте интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / Disclosure of conflict of interest information: The author claims no conflict of interest

Информация о статье / Information about the article

Поступила в редакцию / Entered the editorial office: 16.02.2024

Одобрено рецензентами / Approved by reviewers: 22.02.2024

Принята к публикации / Accepted for publication: 01.03.2024

Сведения об авторах

Тунакова Юлия Алексеевна, доктор химических наук, профессор, заведующая кафедрой, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, 420126, Россия, г. Казань, ул. Четаева, 18, E-mail: juliaprof@mail.ru

Валиев Всеволод Сергеевич, старший научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, 420087, Россия, г. Казань, ул. Даурская, 28, E-mail: podrost@mail.ru

Байбакова Евгения Васильевна, аспирант, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, 420126, Россия, г. Казань, ул. Четаева, 18, E-mail baibakova@icml.ru .

Information about the authors

Yulia A. Tunakova, D.Sc. in Chemistry, Professor, Head of Department, Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI, 18, Chetaeva st., Kazan, 420126, Russia, E-mail: juliaprof@mail.ru

Vsevolod S. Valiev, Senior Researcher, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, 28, Daurskaya st., Kazan, 420087, Russia, E-mail: podrost@mail.ru

Evgeniya V. Baibakova, postgraduate student, Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI, 18, Chetaeva str., Kazan, 420126, Russia, E-mail baibakova@icml.ru

