

Россия, 660036, г. Красноярск, Академгородок,  
50/28

Russian Academy of Sciences;  
50, bld. 28 Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036,  
Russia

e-mail: efr2@ksc.krasn.ru

**Аврова Ада Фёдоровна**

кандидат биологических наук, научный  
сотрудник Лаборатории фитоценологии и  
лесного ресурсосведения, Институт леса им. В.Н.  
Сукачева Сибирского отделения РАН –  
Обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО  
РАН;  
660036, Россия, г. Красноярск, Академгородок,  
50/28

**Ada F. Avrova**

Candidate of Biological Sciences, Researcher,  
Laboratory of Phytocoenology and Forest Resource  
Studies, V.N. Sukachev Institute of Forest, Siberian  
Branch of the Russian Academy of Sciences, Federal  
Research Center “Krasnoyarsk Science Center SB  
RAS”, Siberian Branch of the Russian Academy of  
Sciences;  
50, bld. 28 Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036,  
Russia

e-mail: avrova@ksc.krasn.ru

**Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:**

*Ефремова Т.Т., Ефремов С.П., Аврова А.Ф.* Формализованная группировка притоков Оби таежной зоны по химическому составу вод // Географический вестник = Geographical bulletin. 2018. №2(45). С. 88–103. doi 10.17072/2079-7877-2018-2-88-103

**Please cite this article in English as:**

*Efremova T.T., Efremov S.P., Avrova A.F.* Formalized grouping of the water chemical composition of the Ob river tributaries in taiga zone // Geographical bulletin. 2018. №2(45). P. 88–103. doi 10.17072/2079-7877-2018-2-88-103

УДК 504.3.054

DOI 10.17072/2079-7877-2018-2-103-115

**РАЗРАБОТКА РЕГИОНАЛЬНЫХ ПДК: НЕОБХОДИМОСТЬ, МЕТОДИКА, ПРИМЕР\***

**Анна Анатольевна Возняк**

SPIN-код: 2436-8281, Author ID: 289675

e-mail: aavoznyak@gmail.com

*Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал; Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь*

**Анатолий Павлович Лепихин**

Scopus ID: 56370650100, SPIN-код: 7621-8001, Author ID: 147950

e-mail: lepihin49@mail.ru

*Пермский федеральный исследовательский центр; Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь*

В настоящее время основным показателем, определяющим допустимое содержание поллютантов в водных объектах, является система соответствующих предельно-допустимых концентраций (ПДК). Дан комплексный анализ действующей системы регламентации техногенных воздействий на поверхностные водные объекты. Указаны ее серьезные недостатки, связанные с недоучетом региональных гидрохимических особенностей конкретных водных объектов. Показаны пути ее совершенствования на основе максимально более полного учета региональных особенностей водных объектов. Предложена технология расчетов региональных ПДК на основе оценок непараметрических статистических показателей. Данная технология, в отличие от других методических подходов,

позволяет весьма эффективно учитывать объем рассматриваемых статистических выборок и их изменчивость. Проведен статистический анализ материалов гидрохимических наблюдений на р. Урал. Выполненный анализ показал, что статистические распределения большинства рассматриваемых показателей качества воды существенно отличаются от нормального, соответственно, для их обработки некорректно использование параметрических методов. На основе анализа гидрохимической информации разработаны региональные значения ПДК для р. Урал по следующим показателям: железо общее, марганец, цинк, медь, никель, нефтепродукты.

**Ключевые слова:** предельно-допустимые концентрации (ПДК), регламентация техногенных воздействий на поверхностные водные объекты, региональные гидрохимические особенности водных объектов, региональные ПДК.

## DEVELOPMENT OF REGIONAL MPC: NECESSITY, METHODOLOGY, EXAMPLE

**Anna A. Wozniak**

SPIN-cod: 2436-8281, Author ID: 289675

e-mail: aavoznyak@gmail.com

*Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection, Kamsky branch; Perm State University, Perm*

**Anatoly P. Lepikhin**

Scopus ID: 56370650100, SPIN-code: 7621-8001, Author ID: 147950

e-mail: lepihin49@mail.ru

*Perm Federal Research Center; Perm State University, Perm*

Currently, the main indicator that determines the allowable content of pollutants in water bodies is the system of appropriate maximum permissible concentrations (MPC). The paper provides a complex analysis of the current system of regulation of man-caused impacts on surface water bodies. Serious shortcomings of the system are associated with the underestimation of regional hydrochemical features of specific water bodies. The ways of its improvement are shown on the basis of the most complete consideration of the regional features of water bodies. A technology for calculating regional MPCs based on estimates of nonparametric statistical indicators is proposed. This technology, unlike other methodological approaches, makes it possible to take into account the volume of the statistical samples under consideration and their variability quite effectively. A statistical analysis of materials of hydrochemical observations on the Ural River was carried out. It showed that the statistical distributions of most of the water quality parameters under consideration differ substantially from the normal ones; accordingly, the use of parametric methods for their processing is incorrect. Based on the analysis of hydrochemical information, regional MPC values for 20 indicators of the Ural River water quality near the city of Magnitogorsk have been developed.

**Keywords:** maximum permissible concentrations (MPC), regulation of technogenic impacts on surface water bodies, regional hydrochemical features of water bodies, regional MPCs.

### Введение

Вопросы ограничения хозяйственного использования водных объектов начали рассматриваться достаточно давно, с конца XIX в., когда водные объекты под воздействием интенсивной антропогенной нагрузки стали существенно изменять свои биологические, химические свойства, становясь серьезными источниками распространения инфекционных болезней.

Первые правила отведения сточных вод в водные объекты в России, на достаточно серьезной научной основе, были разработаны под руководством проф. Г.В. Хлопина специальным медицинским Советом Министерства внутренних дел России в 1908 г. [18].

Данный документ по общему перечню запретительных санитарно-гигиенических требований достаточно близок к соответствующим действующим нормативно-методическим документам. Согласно рассматриваемому документу основное требование к сбросу сточных вод сформулировано следующим образом: «Сточные воды не должны изменять к худшему в санитарном отношении химический состав и физические свойства воды тех водоемов, в которые они отводятся, и не должны вызывать заметные изменения в фауне и флоре этих водоемов» [цит. по 18]. Данные требования обеспечивали сохранение качества воды, но не гарантировали водопользователю в явном виде потребительских свойств воды водного объекта.

Указанные санитарные требования с момента их опубликования стали подвергаться достаточно жесткой критике. В связи с этим стала активно разрабатываться альтернативная концепция охраны вод. Согласно альтернативной концепции сброс сточных вод не должен ограничивать три приоритетных вида водопользования: рыбное хозяйство, питьевое и промышленное водоснабжение. В качестве критерия безопасного использования водного объекта для отдельных видов водопользователей была предложена концепция единых общегосударственных предельно-допустимых концентраций (ПДК). Таким образом, при разработке концепции регламентации антропогенных воздействий практически 100 лет назад столкнулись два противоположных подхода к обоснованию допустимых нагрузок:

– «экологический», направленный на обеспечение устойчивого функционирования сложившихся биоценозов;

– «пользовательский», направленный на гарантированное обеспечение отдельных видов водопользования.

С конца 1930-х гг. вторая концепция заняла доминирующее положение в отечественном санитарном и водном законодательствах. Первые санитарно-гигиенические ПДК для водоемов хозяйственного использования были опубликованы в 1940 г. под ред. А.И. Сысина [16].

Затем по данной аналогии стала разрабатываться также единая общегосударственная система ПДК для водных объектов рыбохозяйственного использования. Значения этих ПДК впервые были опубликованы в 1957 г.

### Материалы и методы исследования

В настоящее время основным показателем, определяющим допустимое содержание поллютантов в водных объектах, является система соответствующих предельно-допустимых концентраций [11].

Данные нормативы в своей традиционной постановке разрабатываются на основе анализа поведения некоторых тест-систем (биологических объектов) в некоторых стандартизованных модельных условиях. При этом в качестве ПДК принимаются пороговые значения, вызывающие видимые отклонения от нормы у наиболее чувствительных групп организмов [13]. При таком подходе устанавливаемые значения ПДК достаточно условны и существенно различаются в разных странах, несмотря на проводимые попытки унификации методов их установления [13]. Так, в нашей стране по сравнению с другими странами (США, ЕС) [19, 20, 25] установлены очень жесткие нормативы для меди, ванадия, марганца, в то же время существенно менее жесткие – по кадмию, мышьяку, свинцу, алюминию [13].

В настоящее время очень широко обсуждаются недостатки данной системы регламентации. Основными недостатками концепции единых общегосударственных систем, построенных на основе анализа реакций тест-систем, являются:

– не универсальность принципа пороговости, лежащего в основе ПДК. Достаточно часто различные биологические тест-системы демонстрируют полимодальный характер зависимости «доза – эффект» в отношении различных видов воздействия [2, 9, 10];

– сложность и практическая невозможность оценки при большом количестве рассматриваемых поллютантов "комбинаторных" эффектов, так как число их различных сочетаний (М) очень быстро растет с увеличением одновременно регистрируемых поллютантов N. Так, при десяти рассматриваемых показателях качества воды (N=10) общее количество возможных комбинаций (М) составляет 1023, естественно, экспериментально оценить токсикологическое действие каждой комбинации практически невозможно;

– не учитываются почвенные и геохимические особенности водосборной площади бассейна, что отражается в естественной фоновой концентрации;

– не выработано эффективных критериев подобия между модельными тест-системами, используемыми для оценок ПДК, и рассматриваемыми водными объектами;

– не учитывается продолжительность непрерывного «стояния» данной концентрации загрязняющих веществ в водном объекте.

Если проблемы полимодальности формирования откликов «доза – эффект», а также комбинаторность воздействия токсикантов носят, в значительной мере, теоретический характер и вряд ли могут рассматриваться в нормативно-методических документах по регламентации техногенных воздействий, то учет региональных почвенно-геохимических особенностей водосборных территорий имеет принципиальное значение.

Разрабатываемые по данной схеме ПДК не учитывают, как уже отмечалось, естественные, природные характеристики водного объекта. Известно, что токсичные свойства элементов зависят не только от их концентрации, но и от формы их нахождения в воде, содержания кальция в воде, гумусовых кислот, pH, температуры, комбинаций с другими металлами [9]. Поэтому содержание металлов в воде в ряде стран нормируется в зависимости от концентрации кальция. Например, при уровне  $\text{CaCO}_3$  в водах до 60 мг/л допускается содержание наиболее опасных металлов: Cd – 0,2; Cu – 2,0 мкг/л. Так же, как уже отмечалось, действующие ПДК не учитывают взаимодействие между элементами при комплексном загрязнении вод, в условиях которого токсичные свойства ряда элементов могут взаимно усиливаться или нивелироваться. Так, комбинация Zn, Cu и Cr для рыб во много раз токсичнее, чем каждый элемент в отдельности [22]. Есть данные, что присутствие Mn снижает токсичность таких элементов, как Cu и Al, т. е. проявляет антагонистические свойства [24].

Особую озабоченность вызывает неоправданно жесткий норматив ПДК для меди в России. Известный в мире порог токсичного действия Cu на водные организмы составляет 1,5 мкг/л [25], т. е. выше принятых в России нормативов. Столь жесткая ПДК для Cu (1 мкг/л), установленная по данным экспериментальных работ в аквариумах, была обусловлена, очевидно, токсичностью ее ионной формы. По данным [21] концентрация свободных ионов Cu в природных водах составляет менее 10% валового содержания, поскольку для большей части поверхностных вод России характерно достаточно высокое содержание в них гумусовых кислот, способных связывать и инактивировать металл. В Канаде при низком содержании кальция в воде норматив по Cu составляет 2 мкг/л, при высоком – 4 мкг/л. Из этого можно сделать заключение, что распространять утвержденное значение ПДК по Cu на все регионы и типы вод совершенно неправомерно [23].

Региональные естественные, в первую очередь, почвенно-геохимические характеристики водосборной территории водных объектов могут существенно различаться, поэтому содержание эндогенных для данных водных объектов химических ингредиентов может различаться в десятки раз.

Так, содержание таких характерных загрязняющих ингредиентов, как железо общее и марганец, во многих речных бассейнах РФ, расположенных выше зон активного техногенеза, значительно превосходит не только ПДК для рыбохозяйственных водных объектов, но и санитарно-гигиенические ПДК.

На необходимость учета региональных особенностей при регламентации техногенных воздействий обращается внимание в ФЗ «Об охране окружающей среды» [17], где в статье 21 подчеркивается, что «при установлении нормативов качества окружающей среды учитываются природные особенности территорий и акваторий, назначение природных и природно-антропогенных объектов...».

Альтернативные методы регламентирования, в частности, региональные нормативы качества воды, призваны, в определенной мере, снять эти недостатки. При этом региональные нормативы, исходя из своего характера, должны разрабатываться, в первую очередь, для водных объектов, где, в силу почвенно-геохимических особенностей их водосбора, концентрации эндогенных поллютантов существенно отличаются от типовых условий, для которых разрабатывались ПДК.

Особенности построения региональных ПДК рассматривались в [1, 3, 7]. При установлении региональных ПДК необходимо учитывать, что:

- изменения гидрохимических показателей в любом естественном водном объекте представляют собой случайный процесс;
- отслеживание регламентируемых показателей качества воды действующими системами мониторинга, как источников загрязнения, так и состояния водных объектов-приемников, производится с некоторой характерной погрешностью;
- водные гидробиоценозы, адаптируясь к особенностям гидрологического и гидрохимического режима водных объектов, способны устойчиво функционировать в границах естественных флуктуаций гидрохимических показателей качества воды.

Исходя из вышеизложенного, предельно допустимая нагрузка (ПДН), на наш взгляд, должна быть такой, чтобы действующая система мониторинга не фиксировала статистически значимые отклонения регламентируемых показателей качества воды от их естественных характеристик. Соответственно, отклонения от естественного состояния регламентируемых показателей качества воды в водном объекте, формируемых под воздействием техногенных факторов, должны быть незначительными, малы по сравнению с их естественной изменчивостью и характерной погрешностью оценки содержания данных ингредиентов действующей системой мониторинга.

Таким образом, если вследствие техногенных факторов изменение содержания контролируемых показателей будет находиться в диапазоне их естественных колебаний, то действующая суммарная нагрузка не превысит ассимилирующей емкости системы.

В то же время необходимо отчетливо понимать, что регламентация на основе анализа статистик естественного фонового содержания правомерна и корректна только для веществ так называемого «двойного» генезиса. При этом она принципиально не применяется для чисто техногенных «искусственных» токсикантов, естественное фоновое содержание которых априорно равно нулю.

Решение проблемы построения региональных показателей качества воды, т. е. региональных ПДК (ПДКрег), в виде «точечных» показателей тесно связано с оценкой фоновых концентраций загрязняющих веществ.

Существующая в настоящее время методика расчета «фоновых концентраций» [14], разработанная Росгидрометом, не отражает всех особенностей и требований, предъявляемых к характеристике «фоновая концентрация» при решении конкретных водохозяйственных задач. Складывающиеся проблемы с оценкой «фоновой» концентрации в значительной мере были бы нивелированы, если использовать не точечные оценки, а функции распределений рассматриваемых показателей качества воды. Проблема усложняется тем, что статистическое распределение химических показателей качества воды водных объектов далеко не всегда может быть описано нормальным распределением. В то же время действующая схема оценки «фоновых концентраций» построена на априорном принятии постулата, что статистики химических показателей качества воды подчиняются нормальному распределению.

В настоящее время стало очевидным, что нельзя использовать один и тот же подход к оценке фонового значения как для установления нормативов НДС, когда априорно предполагается, что  $C_{\text{ПДК}} > C_{\text{фон}}$ , так и для разработки региональных ПДК, когда при выполнении условия  $C_{\text{ПДКрег}} = C_{\text{фон}}$  будет полностью отсутствовать ассимилирующая емкость рассматриваемого водного объекта. Недостатки такой схемы регламентации были продемонстрированы неэффективностью многочисленных реализаций методики расчета нормативов НДС [12], которые до сих пор не нашли реального использования в практике водохозяйственного регулирования. Кроме того, методика расчета НДС [12] полностью основана на методике расчета фоновых концентраций [14], которая не учитывает специфику расчета и использования фоновых концентраций и региональных ПДК.

При оперировании точечными показателями, чтобы уйти от особенностей распределения отдельных показателей химического состава воды водных объектов, необходимо за основу принять квантили определенного порядка с учетом погрешностей их оценки, т.е. необходимо переходить на интервальные оценки

$$C_{\phi} = C_p \pm \sigma_{p1}, \quad (1)$$

где  $C_{\phi}$  – расчетная фоновая концентрация;  $C_p$  – квантили порядка  $p$ ;  $\sigma_{p1}$  – средняя погрешность оценки квантили  $C_p$  с обеспеченностью  $p1$  при объеме выборки  $N$ .

Предложенное в [14] основное уравнение по оценке фоновой концентрации является частным случаем соотношения (1). При нормальном распределении среднее значение  $C_p$  совпадает с квантилью порядка 0,5, а  $p1 = 0,95$ .

При решении практических задач построения региональных показателей наиболее удобно использовать точечные оценки в виде их квантилей определенного порядка  $p$ . При этом региональный норматив  $i$ -го показателя качества воды будет определяться как

$$C_{\text{ПДКреги}} = f(C_{pi}, \delta_i, N), \quad (2)$$

где  $C_{pi}$  – квантиль порядка  $p$  для  $i$ -го показателя;  $\delta_i$  – среднеквадратическое отклонение;  $N$  – объем выборки.

Учитывая принцип санитарного максимализма, когда все неопределенности и неоднозначности трактуются в сторону снижения показателя, доверительный интервал в оценке  $C_{\text{ПДКреги}}$  должен быть ужесточен на величину доверительного интервала оценки квантиля порядка  $p$ , определяющегося характером функции распределения для  $i$ -го показателя. В настоящее время технология таких оценок достаточно хорошо отработана в инженерной гидрологии [5].

Конкретное задание нормативного показателя  $p$  связано с действующей схемой расчета фоновой концентрации. При этом удельная ассимилирующая способность водного объекта, лежащая в основе нормативов НДС, оценивается как

$$\Delta C = (C_{\text{ПДК}} - C_{\phi}). \quad (3)$$

При решении практических задач установления региональных нормативов  $C_{ПДКрег}$  в качестве  $C_{\phi}$  целесообразно использовать квантиль порядка  $p = 0,75$ , а в качестве доверительного интервала его нижней границы принимать обеспеченность  $p1 = 0,95$ . Соответственно в качестве регионального «фона» выбирается квантиль порядка  $p = 0,5$ , а в качестве доверительного интервала его нижней границы принимается обеспеченность  $p1 = 0,95$ .

Использование в качестве региональных ПДК квантилей порядка  $p = 0,75$  можно аргументировать следующим образом. Исходя из своего названия и сути, предельно допустимая концентрация (региональный показатель качества воды ПДКрег) должна по определению быть больше, чем среднее значение или медиана. Ключевым при этом является вопрос: насколько больше?

Традиционное для гидрологических расчетов использование обеспеченности экстремальных оценок в 1 и 5% или 95 и 99% при решении данной задачи вряд ли может быть применено. Экстремально высокие концентрации, как правило, имеют другой генезис, характеризуются другими механизмами формирования, чем концентрации на уровне 50%. Поэтому, на наш взгляд, в качестве определенного компромисса целесообразно за расчетное значение принимать квантиль порядка 75% или значения с обеспеченностью 25%.

Квантиль порядка 0,75 (верхний квантиль) используется также в качестве целевого показателя при разработке схем комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО), а граница с обеспеченностью 0,95 – в действующих методических указаниях по расчету фоновых концентраций [14]. Научное обоснование выбора уровня обеспеченности содержится в работах [5, 12, 15].

Следует также отметить, что в США в качестве «желательного» показателя качества воды также используется квантиль порядка 0,75 [26].

Таким образом,

$$ПДКрег \approx C_{0,75} - \frac{Z_{0,75}^{0,95}(\sigma_i)}{\sqrt{N}}, \quad (4)$$

где  $\frac{Z_{0,75}^{0,95}(\sigma_i)}{\sqrt{N}}$  – нижний доверительный интервал с обеспеченностью 0,95 квантили порядка 0,75 при объеме выборки  $N$ .

Согласно [4] дисперсия квантили концентрации порядка  $p$ , определяемой по выборке объема  $N$ , равна

$$D(C_p) = \sigma_p^2 = \frac{p(p-1)}{N(f(C_p))^2}, \quad (5)$$

где  $f(C_p)$  – плотность распределения в точке  $C_p$ .

Соответственно, для нормального распределения при  $p = 0,5$  (медианы)

$$f(C_{0,5}) = \frac{1}{\sigma(2\pi)^{0,5}} \approx \frac{0,398}{\sigma}, \quad (6)$$

$$\sigma_{0,5} = \left(\frac{\pi}{2}\right)^{0,5} \cdot \sigma \approx 1,25 \cdot \sigma. \quad (7)$$

Соответственно, при  $p = 0,75$

$$f(C_{0,75}) \approx \frac{0,32}{\sigma}, \quad \sigma_{0,75} = \left(\frac{0,75 \cdot 0,25}{0,32}\right)^{0,5} \cdot \sigma \approx 1,35 \cdot \sigma, \quad (8)$$

где  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение рассматриваемой выборки.

Так как для нормального распределения среднее квадратическое отклонение медианы в  $\left(\frac{\pi}{2}\right)^2$  больше, чем среднеарифметическое значение, то, исходя из этих особенностей, при анализе гидрохимической информации значительно чаще рассматривается оценка среднеарифметического значения, чем медианы.

Однако данная особенность характерна только для нормального распределения. Для других типов распределения, как следует из (5), это соотношение будет иное.

В то же время, как показали исследования [6, 8], распределение гидрохимических показателей качества воды, за исключением кислорода, кремния, как правило, существенно отклоняется от нормального.

Детальное исследование вопросов оценки квантилей существенно асимметричных распределений, каким является трехпараметрическое гамма-распределение (распределение Крицкого–Менкеля), дано в [5].

Для распределения с характерной асимметрией  $C_s \approx 2C_v$ ,  $C_s \approx 3C_v$  среднеквадратичная оценка квантилей порядка 0,75 составит приблизительно  $1,2 \div 1,3\sigma$ . Учитывая, что квантиль стандартизованного нормального распределения порядка 0,95 равна  $Z_p = 1,64$  и подставляя данное соотношение в (4), имеем

$$ПДК_{рег} = C_{0,75} - \frac{2,15\sigma}{\sqrt{N}} \quad (9)$$

или, учитывая, что коэффициент вариации  $C_v = \frac{\sigma}{C}$ ,  $K = \frac{C_{0,75}}{C}$ ,

имеем

$$ПДК_{рег} = C_{0,75} \left(1 - 2,15 \cdot \frac{C_v}{K\sqrt{N}}\right). \quad (10)$$

Данная оценка для расчета региональных фоновых концентраций является значительно более корректной по сравнению с методикой [12], когда в качестве нормативной оценки предлагается верхний доверительный интервал среднего значения.

Принципиальное их различие заключается в том, что полученные по методике [12] значения ПДК увеличиваются с уменьшением объема выборки, а по соотношению (9) – снижаются, что методически представляется значительно более обоснованным.

### Результаты и их обсуждение

Впервые на основе данной технологии были разработаны региональные ПДК для ряда тяжелых металлов бассейна Верхней Камы. Результаты данных исследований были опубликованы в [3].

В данной статье представлены результаты расчетов региональных показателей  $ПДК_{рег}$  по данной схеме для р. Урал в районе Магнитогорска.

Для оценки статистических особенностей гидрохимического режима р. Урал в районе г. Магнитогорск использованы материалы действующей системы мониторинга качества воды в рассматриваемой части бассейна р. Урал, проводимого ПАО «ММК». В материалах представлены среднемесячные концентрации 20 загрязняющих веществ и 16 показателей качества воды, также средние за месяц, с 2006 по 2016 г.

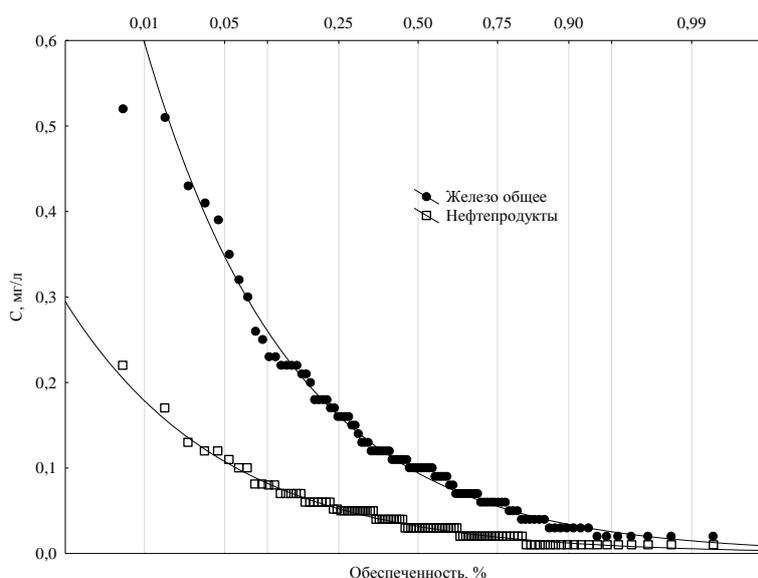


Рис. 1. Интегральная функция распределения концентрации (C) железа общего и нефтепродуктов для фонового створа ПАО «ММК»

## Гидрология

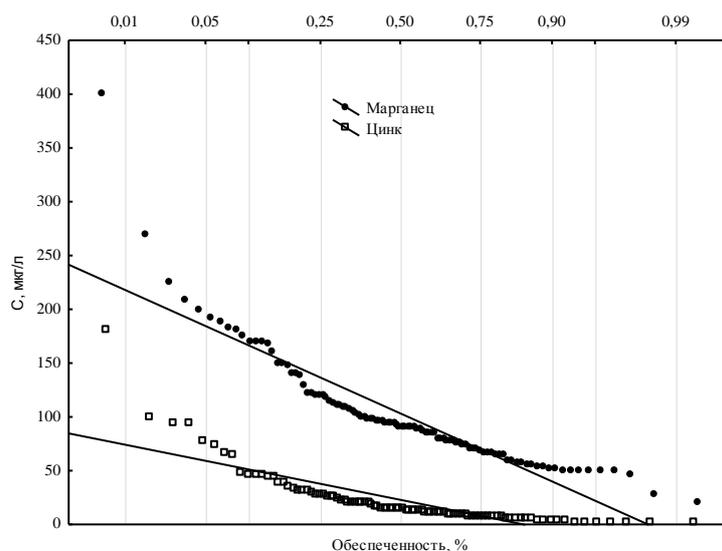


Рис. 2. Интегральная функция распределения концентрации (С) марганца и цинка для фонового створа ПАО «ММК»

Для всех загрязняющих веществ были сформированы ряды исходных данных (длиной около 100 каждый) и рассчитаны кривые распределения. Они представлены на рис. 1, 2 для железа, марганца, цинка и нефтепродуктов. Кривые распределения остальных элементов примерно похожи на эти. Распределения строились на клетчатках вероятности для нормального распределения, т.е. при соответствии ряда наблюдений нормальному распределению кривая распределения на данной клетчатке вероятности должна иметь вид прямой линии. Как показывают рис. 1, 2, ни у одного из рассматриваемых ингредиентов распределение не подчиняется нормальному закону.

Для всех ингредиентов для фонового створа были рассчитаны статистические характеристики распределений (табл. 1).

Весьма низкие значения регламентируемых ингредиентов и, в первую очередь, нефтепродуктов, достаточно наглядно свидетельствуют, что рассматриваемый фоновый створ находится выше зоны активного техногенеза, и гидрохимический режим р. Урал в данном створе в значительной мере определяется естественными природными факторами, т.е. выбранный створ правомерно выбран в качестве фонового.

Таблица 1

Статистические характеристики концентраций загрязняющих веществ в р. Урал до г. Магнитогорска

| Вещество            | Объем выборки | Среднее | Медиана | Min   | Max   | Cv    | Cs     |
|---------------------|---------------|---------|---------|-------|-------|-------|--------|
| Взвешенные вещества | 104           | 10,01   | 8       | 2     | 54,0  | 0,720 | 2,70   |
| Кальций             | 56            | 40,86   | 40,2    | 29,0  | 55,8  | 0,149 | 0,051  |
| Магний              | 53            | 14,3    | 14,9    | 3,6   | 23,8  | 0,294 | -0,37  |
| Хлориды             | 53            | 14,5    | 13,3    | 10    | 34    | 0,344 | 1,72   |
| Сульфаты            | 52            | 40      | 40      | 12    | 66    | 0,322 | -0,11  |
| Железо раствор.     | 103           | 0,126   | 0,1     | 0,02  | 0,52  | 0,813 | 1,82   |
| Марганец            | 105           | 102,7   | 91      | 20,5  | 400,0 | 0,522 | 2,26   |
| Азот нитритов       | 97            | 0,0119  | 0,01    | 0,006 | 0,043 | 0,522 | 2,76   |
| Азот нитратов       | 97            | 0,212   | 0,2     | 0,01  | 0,96  | 0,778 | 1,77   |
| Азот аммония        | 98            | 0,072   | 0,05    | 0,02  | 0,31  | 0,754 | 2,28   |
| Цинк                | 96            | 22,8    | 14      | 1,5   | 180   | 1,166 | 3,12   |
| Медь                | 97            | 3,14    | 3       | 1,0   | 8,0   | 0,446 | 1,24   |
| Хром 6-и вал.       | 93            | 1,32    | 1       | 1,0   | 5,4   | 0,546 | 3,4    |
| Никель              | 95            | 5,33    | 5       | 0,2   | 15,7  | 0,339 | 3,58   |
| Фенолы              | 102           | 0,001   | 0,001   | 0     | 0,002 | 0,433 | -0,96  |
| Нефтепродукты       | 104           | 0,042   | 0,03    | 0,01  | 0,22  | 0,828 | 2,29   |
| Цианиды             | 97            | 0,004   | 0,005   | 0     | 0,005 | 0,378 | -2,32  |
| ХПК                 | 90            | 22,7    | 22,5    | 11,9  | 34,1  | 0,219 | 0,0187 |
| БПК <sub>5</sub>    | 95            | 2,096   | 1,93    | 0,5   | 4,97  | 0,422 | 0,752  |
| Na+K                | 42            | 21,4    | 19,7    | 0,82  | 48,9  | 0,484 | 0,393  |

Представленные в табл. 1 результаты расчетов свидетельствуют о значительной (у магния, натрия, калия и БПК<sub>5</sub>) и очень значительной (практически, у всех остальных) асимметрии распределений рассматриваемых веществ. Отношение между максимальным и минимальным значением концентрации ингредиента за период наблюдений изменяется от 2 до 120 раз.

У трех показателей (кальций, сульфаты и ХПК) асимметрия весьма мала, и распределения могут быть описаны нормальным законом.

По результатам анализа гидрологического и гидрохимического режимов р. Урал в районе Магнитогорского водохранилища, а также анализа статистических характеристик показателей качества воды, проведенного путем обработки данных мониторинга, были рассчитаны по формуле (9) региональные ПДК для р. Урал в районе г. Магнитогорск. Значения их приведены в табл. 2.

Таблица 2

Расчетные значения региональных ПДК (ПДК<sub>рег</sub>) для загрязняющих веществ р. Урал

| Наименование вещества | Объем выборки, N | ПДК <sub>р/в</sub> , мг/л | ПДК <sub>с/в</sub> , мг/л | ПДК <sub>рег</sub> , мг/л |
|-----------------------|------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Взвешенные вещества   | 104              | -                         | -                         | 3,48                      |
| Кальций               | 56               | 180                       | 25-130                    | 35,0                      |
| Магний                | 53               | 40                        | 5-65                      | 10,8                      |
| Хлориды               | 53               | 300                       | 150-250                   | 8,73                      |
| Сульфаты              | 52               | 100                       | 150-250                   | 26,2                      |
| Железо общее          | 103              | 0,1                       | 0,3                       | 0,04                      |
| <b>Марганец</b>       | 105              | <b>0,01</b>               | <b>0,05</b>               | <b>0,06</b>               |
| Нитриты               | 97               | 0,08                      | 0,005-0,5                 | 0,028                     |
| Нитраты               | 97               | 40                        | 5-20                      | 0,212                     |
| Аммоний-ион           | 98               | 0,5                       | 0,05-0,1                  | 0,036                     |
| Цинк                  | 96               | 0,01                      | 3-5                       | 0,002                     |
| <b>Медь</b>           | 97               | <b>0,001</b>              | 1                         | <b>0,0019</b>             |
| Хром 6-и вал.         | 93               | 0,02                      | 0,03-0,05                 | 0,0008                    |
| Никель                | 95               | 0,01                      | 0,02                      | 0,0046                    |
| <b>Фенолы</b>         | 102              | 0,001                     | <b>0,0005</b>             | <b>0,0009</b>             |
| Нефтепродукты         | 104              | 0,05                      | 0,01-0,05                 | 0,01                      |
| Цианиды               | 97               | 0,05                      | 0,035                     | 0,005                     |
| ХПК                   | 90               | 30                        | 30                        | 18,6                      |
| БПК <sub>п</sub>      | 95               | 3                         | -                         | 1,74                      |
| Na+K                  | 42               | 170                       | 22-230                    | 9,87                      |

В соответствии с табл. 2 только 2 ингредиента (марганец и медь) требуют введения региональных ПДК в связи с повышенным естественным их содержанием в воде р. Урал. Причем концентрации марганца превышают как санитарно-гигиенические, так и рыбохозяйственные ПДК, а меди – только рыбохозяйственные. Санитарно-гигиенические ПДК превышает концентрация фенолов, однако фенолы не являются загрязнителями естественного происхождения, поэтому региональные ПДК по ним не вводятся.

Остальные из рассмотренных элементов имеют концентрацию в речной воде ниже допустимых рыбохозяйственных и санитарно-гигиенических. Поэтому для расчета НДС по этим ингредиентам возможно использование федеральных ПДК, как это предусмотрено нормативными документами [11].

### Заключение

Комплексный анализ действующей системы регламентации техногенных воздействий на поверхностные водные объекты, проведенный авторами, выявил серьезные недостатки, связанные с недоучетом региональных гидрохимических особенностей конкретных водных объектов. Совершенствование системы регламентации техногенных воздействий возможно только на основе максимально полного учета региональных особенностей водных объектов.

Технология расчетов региональных ПДК на основе оценок непараметрических статистических показателей, предложенная в статье, позволяет, в отличие от других методических подходов, весьма эффективно учитывать объем рассматриваемых статистических выборок и их изменчивость.

Проведенный статистический анализ материалов гидрохимических наблюдений на р. Урал по 5 створам за 11 лет показал, что статистические распределения большинства рассматриваемых показателей качества воды существенно отличаются от нормального, соответственно, для их

обработки некорректно использование параметрических методов. Данное положение имеет принципиальное значение при обработке и представлении гидрохимической информации.

На основе анализа гидрохимической информации разработаны региональные значения ПДК для р. Урал. В соответствии с проведенными расчетами только 2 ингредиента (марганец и медь) требуют введения региональных ПДК в связи с повышенным естественным их содержанием в воде р. Урал. Остальные из рассмотренных элементов имеют содержание в речной воде ниже рыбохозяйственных и санитарно-гигиенических ПДК. Поэтому по этим ингредиентам для расчета НДС возможно использование федеральных ПДК, как это предусмотрено нормативными документами.

### Библиографический список

1. Булгаков И.Г. Технология регионального контроля природной среды по данным биологического и физико-химического мониторинга: автореф. ...док-ра биол. наук. М., 2003. 54 с.
2. Веницианов Е.В., Лепихин А.П. Физико-химические основы моделирования миграции и трансформации тяжелых металлов в природных водах. Екатеринбург: Изд-во РосНИИВХ, 2002. 235 с.
3. Веницианов Е.В., Лепихин А.П., Мирошниченко С.А., Губернаторова Т.Н. Разработка и обоснование региональных показателей качества воды по содержанию тяжелых металлов для водных объектов бассейна Верхней Камы // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2015. №3. С.50–64.
4. Крамер Г. Математические методы статистики. М.: Мир, 1975. 648 с.
5. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления речным стоком. М.: Наука, 1981. 255 с.
6. Лепихин А.П., Мирошниченко С.А. Особенности задания «фоновой» концентрации в естественных водотоках // Водное хозяйство России. 2003. №3. С. 247–262.
7. Лепихин А.П., Мирошниченко С.А., Мельникова А.Г. Особенности разработки региональных нормативов качества воды // Материалы 6-го Межд. конгресса ЭКВАТЭК. М., 2004. Т. 1. С.94–95.
8. Лепихин А.П., Возняк А.А. Статистические функции распределения гидрохимических показателей качества воды // Водное хозяйство России. 2012. №4. С. 21–32.
9. Максимов В.Н., Абакумов В.А., Булгаков Н.Г., Левич А.П., Терехин А.Т. Экологически допустимые уровни абиотических факторов. Исследования пресноводных объектов Азиатской части России и Узбекистана // Известия РАН. Сер. биологическая. 2002. №5. С.614–624.
10. Максимов В.Н. Проблемы комплексной оценки качества природных вод (экологические аспекты) // Гидробиологический журнал. 1991. Т. 27. №3. С. 8–30.
11. Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей. М., 2007. 40 с.
12. Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты. М., 2008.
13. Моисеенко Т.О. Оценка качества воды и «здоровье» экосистем с позиции экологической парадигмы // Водное хозяйство России. Проблемы, технологии, управление. 2017. №3. С.104–124.
14. РД 52.24.622-2001 Методические указания. Проведение расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков. М., 2001.
15. Рисник Д.В., Беляев С.Д., Булгаков Н.Г., Левич А.П., Максимов В.Н., Мамихин С.В., Милько Е.С. Подходы к нормированию качества окружающей среды. Методы, альтернативные существующей системе нормирования в Российской Федерации // Успехи современной биологии. 2013. Т. 133. С. 3–18.
16. Сысин М.Ф. Реферат о нормах спуска сточных вод в связи с указанием Министерства внутренних дел. Сведения Московской губернии. 1910. №7.
17. Федеральный закон об охране окружающей среды №7. М., 2002.
18. Хлопин Г.В. Химические и микробиологические методы санитарного исследования питьевых и сточных вод. Петроград, 1917.
19. Canadian Water Quality Guidelines. Ottawa.Ontario. Published by Canadian Council of Ministry of Environment. 2004. 76 p.
20. Environmental Quality Objectives for Hazardous Substances in Aquatic Environment. Berlin: Umweltbundesamt, 2001. 186 p.
21. McGeer J.C., Szebedinsky C., McDonald D.G., Wood C.M. Effects of chronic sublethal exposure to water-borne Cu, Cd or Zn in rainbow trout 2: tissue specific metal accumulation // Aquat. Toxicol. 2000. Vol. 50. P. 245–256.

22. Munawar M., Dixon G., Mayfield C.I. Environmental bioassay techniques and their application [Special Issue] // *Hydrobiologia*. 1989. Vol. 188/189. P. 1–680.
23. Musibono D.E., Day J.A. The effect of Mn on mortality and growth in the freshwater amphipod *Paramelita nigroculus* (Barnard) exposed to a mixture of Al and Cu in acidic waters // *Wat. Res.* 1999. Vol. 33. No1. P. 207–213.
24. Persson L. Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater (sixteenth edition). 2012. Technical report no 1. Department of Chemistry and Biotechnology Chalmers University of Technology SE-412. Goteborg, Sweden. 96 p.
25. US EPA. 2000a. Nutrient Criteria Technical Guidance Manual: Lakes and Reservoirs, US Environmental Protection Agency. Washington. DC. EPA-822-B00-001.

### References

1. Bulgakov, I.G. (2003), “Technology of regional control of the natural environment according to biological and physical-chemical monitoring data”, Abstract of D. Sc. Dissertation, Biology, Moscow State University, Moscow, Russia.
2. Venitsianov, Ye.V. and Lepikhin, A.P. (2002), *Fiziko-khimicheskiye osnovy modelirovaniya migratsii i transformatsii tyazhelykh metallov v prirodnykh vodakh* [Physico-chemical basis for modeling the migration and transformation of heavy metals in natural waters], RosNIIVKH, Yekaterinburg, Russia.
3. Venitsianov, Ye.V., Lepikhin, A.P., Miroshnichenko, S.A. and Gubernatorova, T.N. (2015), “Development and justification of regional water quality indicators for heavy metals for water bodies in the Upper Kama basin”, *Vodnoye khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravleniye*, no.3, pp.50-64.
4. Kramer, G (1975), *Matematicheskiye metody statistiki* [Mathematical methods of statistics], Mir, Moscow, Russia.
5. Kritsky, S.N. and Menkel M.F. (1981), *Gidrologicheskiye osnovy upravleniya rechnym stokom* [Hydrological basis of river flow management], Nauka, Moscow, Russia.
6. Lepikhin, A.P. and Miroshnichenko, S.A. (2003), “Features of the assignment of "background" concentration in natural streams”, *Vodnoye khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravleniye*, no.3, pp. 247–262.
7. Lepikhin, A.P., Miroshnichenko, S.A. and Melnikova, A.G. (2004), “Features of the development of regional water quality standards”, Proceedings of the 6th International Congress of ECWATECH, Moscow, 1-4 June 2004, Vol. 1. pp.94–95.
8. Lepikhin, A.P. and Wozniak, A.A. (2012), “Statistical functions of distribution of hydrochemical indicators of water quality”, *Vodnoye khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravleniye*, no.4, pp. 21–32.
9. Maksimov, V.N., Abakumov, V.A., Bulgakov, N.G., Levich, A.P. and Terekhin A.T. (2002), “Ecologically acceptable levels of abiotic factors. Studies of freshwater objects in the Asian part of Russia and Uzbekistan”, *Izvestiya RAN, Ser. Boil.* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences, Ser. Biol.], no.5, pp.614–624.
10. Maksimov, V.N. (1991), “Problems of integrated assessment of the quality of natural waters (environmental aspects)”, *Hydrobiological journal*, vol. 27, no. 3, pp. 8–30.
11. Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation (Order No. 333 of December 17, 2008), *Metodika razrabotki normativov dopustimykh sbrosov veshchestv i mikroorganizmov v vodnyye ob"yekty dlya vodopol'zovateley* [Methodology for the development of standards for the permissible discharges of substances and microorganisms into water bodies for water users].
12. Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation (Order No. 328 of December 12, 2007), *Metodicheskiye ukazaniya po razrabotke normativov dopustimogo vozdeystviya na vodnyye ob"yekty* [Methodological instructions for the development of standards for the permissible impact on water bodies].
13. Moiseyenko, T.O. (2017), “Assessment of water quality and "health" of ecosystems from the position of ecological paradigm”, *Vodnoye khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravleniye*, no.3, pp. 104–124.
14. Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (2001), *RD 52.24.622-2001: Metodicheskiye ukazaniya. Provedeniye raschetov fonovykh kontsentratsiy khimicheskikh veshchestv v vode vodotokov* [Methodical instructions. Calculation of background concentrations of chemicals in the water of watercourses].

15. Risnik, D.V., Belyaev, S.D., Bulgakov, N.G., Levich, A.P., Maksimov, V.N., Mamikhin, S.V. and Milko, E.S. (2013), "Approaches to the normalization of environmental quality. Methods alternative to the existing system of rationing in the Russian Federation", *Uspekhi sovremennoy biologii*, vol. 133, pp. 3–18.
16. Sysin, M.F. (1910), "The abstract about the norms of waste water discharge in connection with the instruction of the Ministry of Internal Affairs", *Svedeniya Moskovskoy gubernii*, no.7.
17. Government of the Russian Federation (2002), *Zakon ob okhrane okruzhayushchey sredy* [Law on Environmental Protection], Federal Law No. 7 of 10.01.2002.
18. Khlopin, G.V. (1917), *Khimicheskiye i mikrobiologicheskiye metody sanitarnogo issledovaniya pit'yevykh i stochnykh vod* [Chemical and microbiological methods of sanitary research of drinking and waste water], Petrograd, Russia.
19. Canadian Water Quality Guidelines. Ottawa, Ontario. Published by Canadian Council of Ministry of Environment. 2004. 76 p.
20. Environmental Quality Objectives for Hazardous Substances in Aquatic Environment. Berlin. Umweltbundesamt. 2001. 186 p.
21. McGeer J.C., Szebedinsky C., McDonald D.G., Wood C.M. Effects of chronic sublethal exposure to water-borne Cu, Cd or Zn in rainbow trout 2: tissue specific metal accumulation. // *Aquat. Toxicol.* 2000. Vol. 50. P. 245–256.
22. Munawar M., Dixon G., Mayfield C. I. Environmental bioassay techniques and their application [Special Issue]. *Hydrobiologia*. 1989. Vol. 188/189. P. 1–680.
23. Musibono D. E., Day J. A. The effect of Mn on mortality and growth in the freshwater amphipod *Paramelita nigroculus* (Barnard) exposed to a mixture of Al and Cu in acidic waters // *Wat. Res.*, 1999. Vol. 33. No 1. P. 207–213.
24. Persson L. *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater* (sixteenth edition). 2012. Technical report no 1. Department of Chemistry and Biotechnology Chalmers University of Technology SE-412. Goteborg, Sweden. 96 p.
25. US EPA. 2000a. *Nutrient Criteria Technical Guidance Manual: Lakes and Reservoirs*, US Environmental Protection Agency. Washington. DC. EPA-822-B00-001.

Поступила в редакцию: 09.01.2018

### Сведения об авторах

#### Возняк Анна Анатольевна

кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (РосНИИВХ), Камский филиал; Россия, 614002, г. Пермь, ул. Островского, 113; доцент кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов Пермского государственного национального исследовательского университета; Россия, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: aavoznyak@gmail.com

#### Лепихин Анатолий Павлович

доктор географических наук, заведующий лабораторией проблем гидрологии суши «ГИ УрО РАН», филиала Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения РАН; Россия, 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78А; профессор кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов Пермского государственного национального исследовательского университета; 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: lepin49@mail.ru

### About the authors

#### Anna A. Wozniak

Candidate of Geographical Sciences, Leading Researcher, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection of Water Resources (RosNIIVH), Kamsky Branch; 113, Ostrovsky st., Perm, 614002, Russia; Associate Professor of the Department of Hydrology and Water Resources Protection, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia

#### Anatoly P. Lepikhin

Doctor of Geographical Sciences, Head of the Laboratory of Problems of Land Hydrology " Mining Institute of Ural Branch of RAS", branch of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 78A, Siberian st., Perm, 614007, Russia; Professor of the Department of Hydrology and Water Resources Protection, Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia

**Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:**

*Возняк А.А., Лепихин А.П.* Разработка региональных ПДК: необходимость, методика, пример // Географический вестник = Geographical bulletin. 2018. №2(45). С. 103–115. doi 10.17072/2079-7877-2018-2-103-115

**Please cite this article in English as:**

*Wozniak A.A., Lepikhin A.P.* Development of regional MPC: necessity, methodology, example // Geographical bulletin. 2018. №2(45). P. 103–115. doi 10.17072/2079-7877-2018-2-103-115