

УДК 628.193

## РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ ПО СОДЕРЖАНИЮ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ БАССЕЙНА ВЕРХНЕЙ КАМЫ\*

© 2015 г. Е.В. Веницианов<sup>1</sup>, С.А. Мирошниченко<sup>2,3</sup>, А.П. Лепихин<sup>2</sup>, Т.Н. Губернаторова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук», Москва

<sup>2</sup> ФГБУН «Горный институт Уральского отделения Российской академии наук», г. Пермь

<sup>3</sup> ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал, г. Пермь

**Ключевые слова:** региональные показатели качества вод, водные объекты, Соликамско-Березниковский промузел, бассейн Верхней Камы, железо (общее), медь, марганец, цинк.



Е.В. Веницианов С.А. Мирошниченко А.П. Лепихин Т.Н. Губернаторова

Предложена новая методология установления региональных показателей качества воды водных объектов бассейна Верхней Камы (ПДК<sub>РЕГ</sub>), являющейся приемником сточных вод одного из крупных промышленных комплексов бассейна р. Камы – Соликамско-Березниковского промузла. Методология учитывает факторы, определяющие содержание тяжелых металлов в природных водах и пространственно-временную изменчивость их содержания в водных объектах бассейна Верхней Камы. Разработанный метод реализован при построении региональных показателей качества воды бассейна Верхней Камы

\* Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда в рамках проекта «Новые факторы загрязнения водных объектов и меры по снижению его негативного воздействия на качество вод» № 14-17-00672

## ВВЕДЕНИЕ

Естественные водные объекты, как правило, характеризуются весьма широким диапазоном изменения гидрохимических показателей качества воды. Природные гидробиоценозы за продолжительный период функционирования в сложившихся природных условиях максимально адаптировались к ним. При этом часто естественное содержание химических компонентов может существенно отличаться от единых общенациональных нормативов качества воды (ПДК). Возникает противоречие, когда концентрации некоторых химических веществ, при которых обеспечена устойчивость сложившихся биоценозов, не соответствуют предельно допустимым концентрациям для водоемов рыбохозяйственного использования (ПДК<sub>рх</sub>), которые являются нормативами при регулировании качества вод практически всех водных объектов России. Требование достижения ПДК<sub>рх</sub> без учета особенностей конкретных водных объектов противоречит принципу обеспечения устойчивости экосистем и накладывает на водопользователей практически невыполнимые требования при водоотведении сточных вод. Это требование не может улучшить экологическое состояние водных объектов и экономически, чаще всего, невыполнимо. Таким образом, даже если сточные воды предприятия-водопользователя будут удовлетворять централизованным показателям ПДК, они в принципе не могут улучшить экологическое состояние водных объектов в силу того, что «естественный фон» содержания ряда химических веществ заведомо превышает эти значения. Требование достижения ПДК<sub>рх</sub> в сточных водах приводит, как правило, к неоправданным затратам средств, выделяемых на решение задач охраны водных объектов.

В связи с этим в настоящее время остро встал вопрос практической реализации заложенного в Водном кодексе положения об использовании региональных нормативов качества воды для отдельных водных объектов при регулировании водоотведения сточных вод, их разработки и установления.

### ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ БАСЕЙНА ВЕРХНЕЙ КАМЫ

Тяжелые металлы (ТМ) относятся к загрязняющим веществам двойного генезиса (естественного и техногенного). Их содержание в водных объектах характеризуется существенной пространственно-временной неоднородностью и определяется особенностями взаимодействия поверхностного стока с подстилающей поверхностью на водосборе. Эти факторы приводят к тому, что зачастую характерное содержание ТМ оказывается значительно выше принятых для них общенациональных нормативов (ПДК<sub>рх</sub>). Поэтому создание эффективной системы регламентации веществ двойного генезиса невозможно без учета региональных природно-климатических особенностей водосборов конкретных водных объектов.

На основе длительных рядов наблюдений в бассейне Верхней Камы была проведена статистическая обработка результатов наблюдений за содержанием в воде железа (общего), меди, цинка и марганца. Результаты расчета средних значений за десятилетний период наблюдений показали их значительную изменчивость. Так, например, среднегодовая концентрация железа (общего) для поста р. Кама – пос. Тюлькино изменялась с 1,3 мг/л в 1974 г. до 0,6 мг/л в 2013 г., в то время как ПДК<sub>рх</sub> равна 0,1 мг/л. Причиной повышенного содержания в воде металлов является наличие на водосборе болот.

В силу того, что оценка статистических параметров может корректно проводиться только на основе статистически однородных выборок, на первом этапе любого статистического анализа проводится проверка анализируемых выборок на их однородность. При анализе исходной выборки с 1974 по 2013 гг. установлено, что она распадается на две однородные частные выборки – с 1974 по 1997 гг. и с 1998 по 2013 гг. Основная причина неоднородности рядов наблюдений заключается в снижении техногенной нагрузки в бассейне рек, в частности – в прекращении молевого сплава леса. При этом улучшилось состояние водоохраной зоны, снизились объемы поступающего в водоток загрязненного поверхностного и грунтового стока. Все последующие статистические оценки проводили на основе статистически однородной частной выборки 1998–2013 гг., которая содержит актуальные данные наблюдений.

Следует подчеркнуть, что изменение природного фона на р. Каме не является исключением. Важно периодически (например, раз в десятилетие) проводить корректировку фоновых показателей, используя изложенную ниже методологию.

Кривые обеспеченности концентраций в воде железа (общего), марганца, цинка приведены на рис. 1–3. Наиболее высокое содержание в воде железа (общего) отмечается на посту, который расположен вне зоны техногенного загрязнения с минимальной антропогенной нагрузкой р. Кама – пос. Гайны. Концентрация в воде железа здесь изменяется в интервале от 1,0 до 1,4 мг/л и может достигать в отдельные периоды 2 мг/л, что соответствует 20 ПДК<sub>рх</sub>. На посту р. Кама – пос. Тюлькино, где также нет интенсивного техногенеза, содержание в воде железа превосходит содержание железа в воде р. Камы после крупных промышленных центров Западного Урала – городов Соликамска и Березники. Практически все пробы по содержанию в воде железа превышают нормативное значение (ПДК<sub>рх</sub> = 0,1 мг/л). Подобная ситуация характерна и для содержания в воде марганца. Концентрация в воде марганца на посту р. Кама – пос. Тюлькино отмечается в пределах от 0,02 до 0,08 мг/л, что соответствует 2 и 8 ПДК<sub>рх</sub> (0,01 мг/л). Количество нестандартных проб с высоким содержанием марганца в воде превышает 90 %. По содержанию в воде цинка только 10–15 % проб превышают норматив ПДК<sub>рх</sub> (0,01 мг/л).

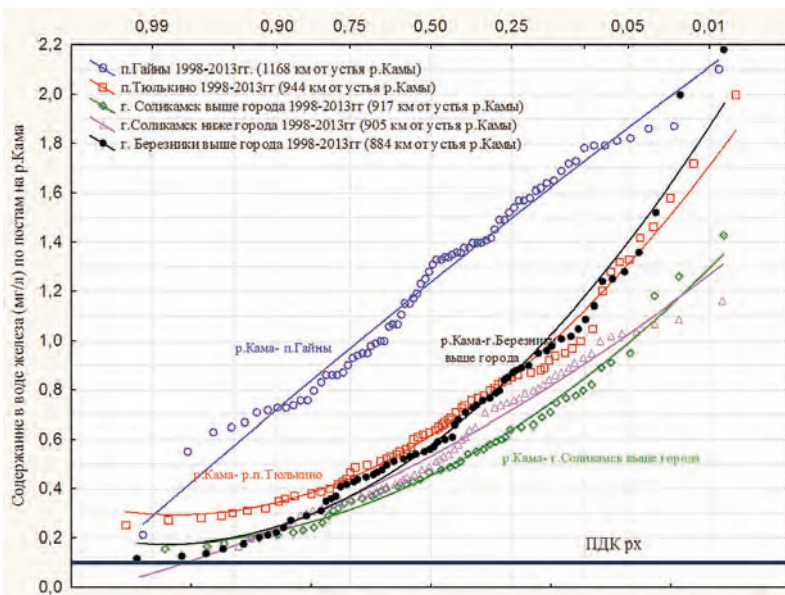


Рис. 1. Кривые обеспеченности изменения содержания в воде железа (общего) по длине р. Камы за 1998–2013 гг.

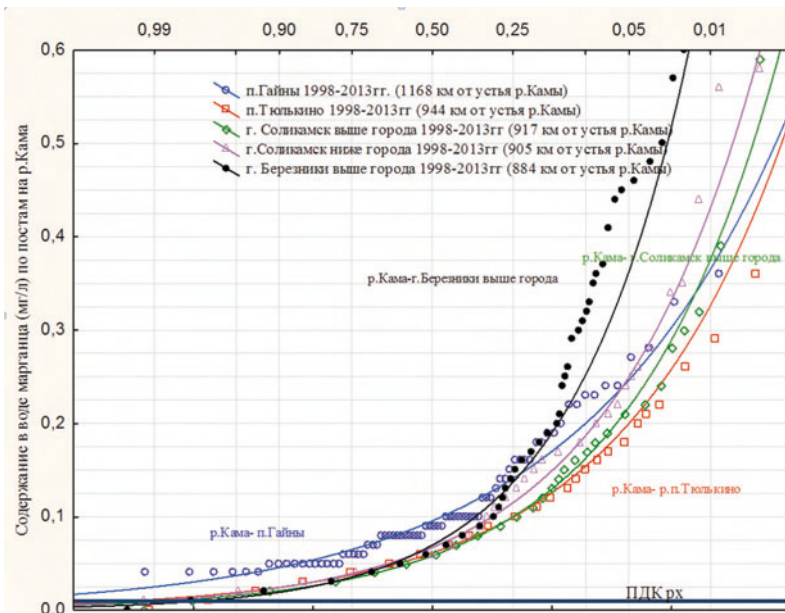


Рис. 2. Кривые обеспеченности изменения содержания в воде марганца по длине р. Камы за 1998–2013 гг.

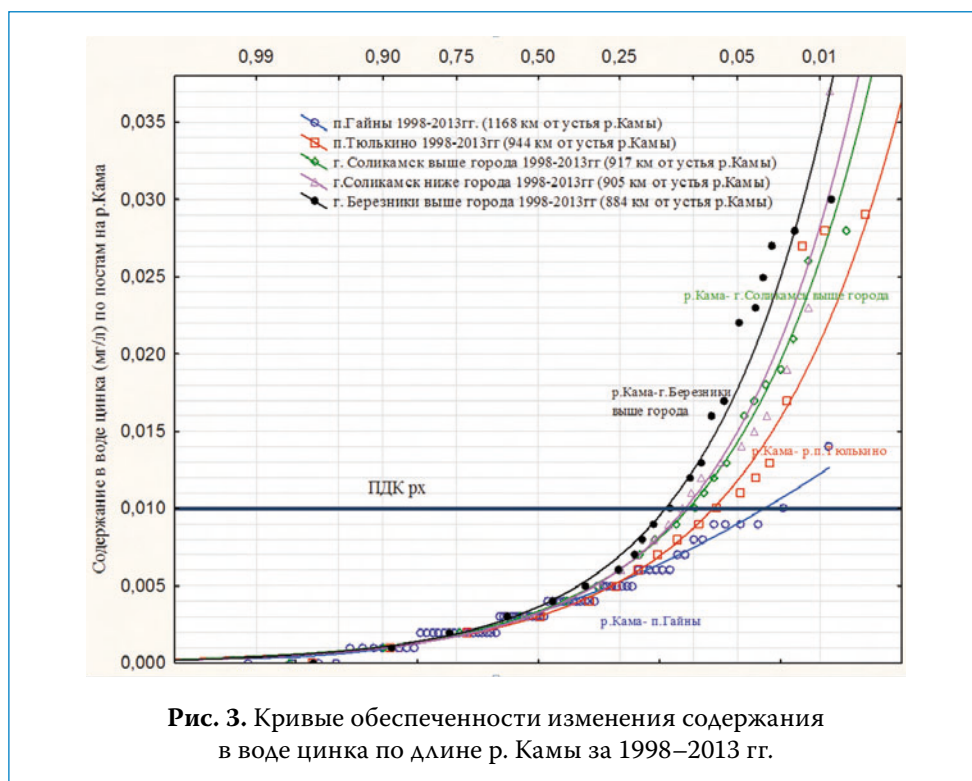


Рис. 3. Кривые обеспеченности изменения содержания в воде цинка по длине р. Камы за 1998–2013 гг.

### МЕТОДОЛОГИЯ УСТАНОВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ ДЛЯ БАССЕЙНА ВЕРХНЕЙ КАМЫ

В каждом водном объекте концентрации любого компонента являются случайной величиной, которая имеет такие характеристики, как среднее и стандартное отклонение. Очевидно, что допустимы те изменения гидрохимических показателей качества воды под воздействием техногенных факторов, которые статистически значимо не отличаются от показателей в естественных условиях, т. е. не отличаются от «естественного фона». Поэтому методология регламентации нормативов качества воды на основе региональных показателей должна основываться на сравнении статистик в естественных и антропогенно-нагруженных состояниях, имея в виду функции распределения показателей качества воды в естественном состоянии и в условиях техногенных нагрузок. Автокорреляционные функции для временных рядов показателей указывают на существование характерных времен в ряду, для которых существует значимая корреляция параметров (например, [1]). В нашем случае наличие автокорреляций несущественно для решаемой задачи.



Введем обозначения  $P_{E_i}(C_i)$  и  $P_{T_i}(C_i)$  – статистические функции распределения  $i$ -го показателя качества воды в естественном состоянии и в условиях техногенных нагрузок. Решение проблемы построения региональных показателей качества воды, т. е. региональных ПДК (ПДК<sub>рег</sub>) в виде «точечных» показателей тесно связано с оценкой фоновых концентраций загрязняющих веществ.

Понятие «фоновой» концентрации используется при решении широкого круга водохозяйственных задач: для балансовой оценки загрязняющих веществ, определения НДС и др. Изменение содержания какого-либо компонента в определенной точке водного объекта представляет случайный процесс, определяемый действием многих факторов. Проблема состоит в том, что многие задачи, решаемые с использованием понятия «фоновая концентрация», ориентированы на применение так называемых точечных показателей. Однако точечные показатели не могут характеризовать реальные свойства химических компонентов воды, которые имеют высокий уровень пространственно-временной изменчивости. Эту изменчивость характеризуют функции распределения концентраций компонентов в створах измерений.

Следует подчеркнуть, что в сфере гидрологии природных водных объектов давно используются статистические характеристики таких показателей, как расход воды и скорость потока. В настоящее время невозможно представить, чтобы водохозяйственные расчеты были основаны на «точечных» показателях, как это принято до сих пор в гидрохимии. Такой подход неизбежно привел бы к огромным ущербам от водного фактора и экономическим потерям.

Существующая в настоящее время методика расчета «фоновых концентраций» [2], 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 для оценки фонового значения как для установления нор-

мативов НДС, когда априорно предполагается, что  $C_{\text{ПДК}} > C_{\text{фон}}$ , так и для разработки региональных ПДК, когда для учета ассимилирующей емкости водного объекта принимают  $C_{\text{ПДК}} \leq C_{\text{фон}}$ .

Недостатки такой схемы регламентации были продемонстрированы неэффективностью многочисленных реализаций методики расчета нормативов НДС [3], которые до сих пор не нашли реального использования в практике водохозяйственного регулирования. Кроме того, методика расчета НДС [3] полностью основана на методике расчета фоновых концентраций [2], 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

$$C_{\phi} = C_p \pm E_{pi}^{(N)}, \quad (1)$$

где  $C_{\phi}$  – расчетная фоновая концентрация;

$C_p$  – квантиль уровня (обеспеченности)  $p$ ;

$E_{pi}^{(N)}$  – средняя погрешность оценки квантили  $C_p$  с обеспеченностью  $p_1$  и при объеме выборки  $N$ .

Предложенное в [2] 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  $p_1 = 0,95$ .

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

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

где  $C_{pi}$  – квантиль порядка  $p$  для  $i$ -го показателя;

$\delta_i$  – среднеквадратичное отклонение;

$N$  – объем выборки.

Учитывая принцип санитарного максимализма, когда все неопределенности и неоднозначности трактуются в сторону снижения показателя, доверительный интервал в оценке  $C_{ni}$  должен быть ужесточен на величину доверительного интервала оценки квантиля порядка  $p_1$ , определяющегося характером функции распределения для  $i$ -го показателя. В настоящее время технология таких оценок достаточно хорошо отработана в инженерной гидрологии [4].

Конкретное задание нормативного показателя  $p_1$  связано с действующей схемой расчета фоновой концентрации. При этом удельная ассимили-

рующая способность водного объекта, лежащая в основе нормативов НДС, оценивается как

$$\Delta C = (C_{\text{пак}} - C_{\text{ф}}). \quad (3)$$

При решении практических задач установления региональных нормативов  $C_{\text{пак}}$  в качестве  $C_{\text{ф}}$  целесообразно использовать квантиль порядка  $p = 0,75$ , а в качестве доверительного интервала его нижней границы принимать обеспеченность  $p_1 = 0,95$ . Соответственно в качестве регионального «фона» выбирается квантиль порядка  $p = 0,5$ , а в качестве доверительного интервала его нижней границы принимается обеспеченность  $p_1 = 0,95$ . 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 ПДК<sub>пер</sub>) должна по определению быть больше, чем среднее значение или медиана. Ключевым при этом является вопрос: насколько больше? В условиях стохастичности рассматриваемой системы: как часто могут наблюдаться эти превышения? При этом желательно, чтобы механизмы формирования средних и экстремальных значений имели одинаковый генезис.

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 [2]. Научное обоснование выбора уровня обеспеченности содержится в работах [5–7].

Следует также отметить, что в США в качестве «желательного» показателя качества воды также используется квантиль порядка 0,75 [8].

Таким образом

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

где  $\frac{Z_{0,75}^{0,95}(\sigma_i)}{\sqrt{N}}$  – нижний доверительный интервал с обеспеченностью 0,95

для квантиля порядка 0,75 при объеме выборки  $N$ ;

$\sigma_i$  – стандартное отклонение.



Соответственно ассимилирующая способность водного объекта составляет

$$\Delta C = (C_{0,75} - C_{0,5}) - \frac{(Z_{0,75}^{0,95} + Z_{0,95}^{0,5})(\sigma_i)}{\sqrt{N-1}}, \quad (5)$$

где  $Z_{0,75}^{0,95}$  – нижний доверительный интервал с обеспеченностью 0,95 квантиль порядка 0,75;

$Z_{0,95}^{0,5}$  – верхний доверительный интервал с обеспеченностью 0,95 квантиль порядка 0,5.

Если исходить из установленной в [9] приемлемости нормального распределения, то в этом случае для фоновой концентрации имеем

$$C_{p,p1} = C_p - \frac{K_{p1} \cdot \sigma}{\sqrt{N}}, \quad (6)$$

где  $C_{p,p1}$  – квантиль порядка  $p$  для концентрации нормируемого компонента;

$K_{p1}$  – квантиль нормального распределения порядка  $p_1$ ;

$\sigma_p$  – среднеквадратичное отклонение для квантиля порядка  $p$ ;

$N$  – объем выборки.

Согласно [9] дисперсия квантили порядка  $p$ , определяемой по выборке объема  $N$ , равна

$$D(C_p) = \sigma_p^2 = \frac{p(1-p)}{N(f(C_p))^2}, \quad (7)$$

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

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

$$f(C_p) = \frac{1}{\sigma(2\pi)^{1/2}} \approx \frac{0,398}{\sigma}, \text{ соответственно } \sigma_{0,5} = \left(\frac{\pi}{2}\right)^{1/2} \cdot \sigma \approx 1,25 \cdot \sigma; \quad (8)$$

при  $p = 0,75$

$$f(C_{0,75}) \approx \frac{0,32}{\sigma}, \sigma_{0,75} = \left(\frac{0,75 \cdot 0,25}{0,32}\right)^{1/2} \cdot \sigma \approx 1,35 \cdot \sigma, \quad (9)$$

где  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение рассматриваемой выборки.

Так как для нормального распределения среднеквадратичное отклонение медианы в  $\left(\frac{\pi}{2}\right)^{1/2}$  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 (7), это соотношение будет иное.

В то же время, как показали исследования [10–11], распределение гидрохимических показателей качества воды, за исключением кислорода, кремния, как правило, существенно отклоняется от нормального.

Детальное исследование вопросов оценки квантилей существенно ассиметричных распределений, каким является трехпараметрическое гамма-распределение (распределение Крицкого–Менкеля), дано в [4].

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

$$\bar{C}_{0,75}^{0,95} = C_{0,75} - \frac{2,15\sigma}{\sqrt{N}}. \quad (10)$$

Данная оценка для расчета региональных фоновых концентраций является значительно более корректной по сравнению с методикой [3], когда в качестве нормативной оценки предлагается верхний доверительный интервал среднего значения. Результаты расчетов региональных показателей  $C_{\text{пдк}}$  по данной схеме для водотоков бассейна Верхней Камы представлены в табл. 1.

В табл. 1 для сопоставления расчетных фоновых концентраций приведены региональные допустимые концентрации, рассчитанные в соответствии с методикой нормативов НДВ [3]. Эти значения весьма близки. Принципиальное их различие заключается в том, что полученные по методике [3] значения ПДК с уменьшением объема выборки возрастают, а по соотношению (10) снижаются, что методически представляется значительно более обоснованным.

Для водопользователей, расположенных на территории Соликамско-Березниковского промузла и осуществляющих отведение своих сточных вод в р. Каму (Камское водохранилище), основными показателями качества воды должны быть показатели, разработанные для створа р. Кама – пос. Тюлькино. На участке пос. Тюлькино – г. Березники р. Кама (Камское водохранилище) не принимает крупных притоков, а в самом водотоке не установлены какие-либо внутриводоемные процессы, способные существенно изменить содержание металлов в рассматриваемых водотоках, поэтому данные показатели региональных ПДК должны быть едиными для всего Соликамско-Березниковского промузла без деления на подучастки.

**Таблица 1.** Региональные ПДК для основных водотоков бассейна Верхней Камы

Наименование вещества (створ)	Расчетные фоновые концентрации ( $C_{\text{фон расч.}}$ ) по методике НДВ [3]	Региональные ПДК по фону по соотношению (10) ( $C_{\text{пдк по фону}}$ )	Квантиль, $C_{75}$
Fe (р. Кама – пос. Гайны)	1,32	1,42	1,5400
Cu (р. Кама – пос. Гайны)	0,002	0,002	0,0020
Zn (р. Кама – пос. Гайны)	0,006	0,003	0,0050
Mn (р. Кама – пос. Гайны)	0,129	0,127	0,1500
<b>Fe (р. Кама – пос. Тюлькино)</b>	<b>0,74</b>	<b>0,77</b>	<b>0,8500</b>
<b>Cu (р. Кама – пос. Тюлькино)</b>	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>	<b>0,0020</b>
<b>Zn (р. Кама – пос. Тюлькино)</b>	<b>0,005</b>	<b>0,004</b>	<b>0,0050</b>
<b>Mn (р. Кама – пос. Тюлькино)</b>	<b>0,086</b>	<b>0,089</b>	<b>0,1000</b>
Fe (р. Кама – г. Соликамск, в.г.)	0,56	0,57	0,6400
Cu (р. Кама – г. Соликамск, в.г.)	0,002	0,002	0,0020
Zn (р. Кама – г. Соликамск, в.г.)	0,006	0,005	0,0060
Mn (р. Кама – г. Соликамск, в.г.)	0,089	0,087	0,1000
Fe (р. Вишера – г. Красновишерск, в.г.)	0,39	0,29	0,3800
Cu (р. Вишера – г. Красновишерск, в.г.)	0,001	0,002	0,0020
Zn (р. Вишера – г. Красновишерск, в.г.)	0,004	0,003	0,0040
Mn (р. Вишера – г. Красновишерск, в.г.)	0,053	0,049	0,0600
Fe (р. Колва – г.Чердынь)	0,60	0,55	0,6100
Cu (р. Колва – г.Чердынь)	0,001	0,002	0,0020
Zn (р. Колва – г. Чердынь)	0,004	0,003	0,0040
Mn (р. Колва – г. Чердынь)	0,083	0,087	0,1000
Fe (р. Вишера – пос. Рябинино)	0,58	0,55	0,6100
Cu (р. Вишера – пос. Рябинино)	0,001	0,001	0,0010
Zn (р. Вишера – пос. Рябинино)	0,004	0,003	0,0040
Mn (р. Вишера – пос. Рябинино)	0,111	0,093	0,1100
Fe (р. Язьва – с. Н.Язьва)	0,56	0,55	0,6100
Cu (р. Язьва – с. Н.Язьва)	0,002	0,002	0,0020
Zn (р. Язьва – с. Н.Язьва)	0,006	0,004	0,0055
Mn (р. Язьва – с. Н.Язьва)	0,081	0,077	0,0900

Примечание: в.г. – в черте города.

## АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ РЕГИОНАЛЬНЫХ НОРМАТИВОВ

Рассчитанные выше региональные показатели ( $ПДК_{\text{per}}$ ) соответствуют концепции обеспечения устойчивости функций водных гидробиоценозов при регламентировании техногенных нагрузок на водные объекты. Однако при практической реализации данного подхода возникает сложная задача, не решенная в полной мере до сих пор, – построение диапазонов толерантности при возможных изменениях в воде водных объектов содержания в них химических веществ. Так как химический состав, т. е. содержание фиксируемых в воде компонентов в любом естественном водном объекте характеризуется очень сложной изменчивостью, задача состоит в установлении таких диапазонов, при которых сохраняется устойчивость функционирования сложившихся естественных гидробиоценозов. Детально данная проблема обсуждена в [5].

В данной работе предлагается один из возможных вариантов решения задачи, т. к. концепция единых общегосударственных нормативов наталкивается на существенные проблемы. Весьма сложно эффективно оперировать едиными ПДК в масштабах страны, характеризующейся различными природно-климатическими условиями. Необходимость установления региональных ПДК вызвана насущной потребностью водопользователей, сталкивающихся с неразрешимыми проблемами при использовании единых ПДК, которые не учитывают разнообразие фоновых состояний конкретных водных объектов. Необходимость разработки региональных ПДК заложена в Федеральном законе Российской Федерации от 21 июля 2014 г. № 219-ФЗ (ст. 20 п. 3; ст. 22 п. 1), это также согласуется со ст. 21 п. 3, ст. 22 п. 2 ФЗ РФ от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ и ст. 35 п. 5 Водного кодекса РФ [12–14]. Региональные ПДК используются при разработке нормативов допустимого воздействия (НДВ).

Однако эти нормативы не могли быть эффективными по ряду причин: непроработанность самой концепции НДВ и несогласованность с Роспотребнадзором РФ; существенное сокращение государственной наблюдательной сети на водных объектах; переход на коммерческие принципы предоставления гидрохимической, гидрологической информации территориальными подразделениями Росгидромета.

В настоящее время нормативы допустимых воздействий (НДВ) в строгом соответствии с методическими указаниями [3] разработаны и для бассейна Верхней Камы. Сопоставительное представление данных нормативов с региональными показателями ( $ПДК_{\text{per}}$ ), разработанными на основе соотношения (10), приведено в табл. 2.

Как следует из табл. 2, рассчитанные региональные показатели для поста Тюлькино по предлагаемой методике незначительно отличаются от норма-

тивов, установленных по методике расчета НДС для водохозяйственного участка 10.01.01.002 (р. Кама от с. Бондюг до г. Березники).

**Таблица 2.** Нормативы качества воды для Соликамско-Березниковского промузла, мг/л

Показатели	ПДК <sub>рх</sub>	ПДК для питьевой воды	Расчетные ПДК <sub>рег</sub> для поста Тюлькино (по предлагаемой методике расчета)	Установленные нормативы по методике расчета НДС для водохозяйственного участка 10.01.01.002 (р. Кама от с. Бондюг до г. Березники)	
				Подучасток № 2 Камское водохранилище, 0,3 км выше Боровского затона и 3 км ниже впадения р. Усолки	Подучасток № 3 Камское водохранилище, 3 км ниже впадения р. Усолки – д. Огурдино
Железо (общее)	0,10	0,3	0,74	0,75	0,52
Марганец	0,01	0,10	0,09	0,10	0,06
Медь	0,001	1,0	0,002	0,002	0,002
Цинк	0,01	1,00	0,01	0,01	0,01

Принципиальное различие заключается в том, что разработанные региональные ПДК предполагаются едиными для р. Камы в пределах Соликамско-Березниковского промузла, т. к. на этом участке реки нет естественных механизмов, способных существенно, статистически значимо изменить содержание рассматриваемых металлов в воде. Установление по методике НДС различных значений региональных ПДК для двух относительно небольших подучастков, обусловлено, в первую очередь, некорректностью самой схемы расчета региональных показателей качества воды, заложенных в методике НДС [3].

### ВЫВОДЫ

Создание эффективной системы регламентации веществ двойного генезиса (естественного и техногенного) невозможно без учета природно-климатических особенностей водосборов конкретных водных объектов. Так как содержание тяжелых металлов характеризуется существенной пространственно-временной неоднородностью, часто их содержание оказывается значительно выше принятых для них общегосударственных нормативов. Изменение состояния подстилающей поверхности, как правило, находит отражение в динамике химических показателей качества воды. Учет



этих факторов также необходим при построении системы регламентирования с учетом региональных особенностей водных объектов.

Предложена новая методология установления региональных показателей качества воды водных объектов Соликамско-Березниковского промузла (ПДК<sub>пер</sub>), учитывающая принцип санитарного максимализма. Тем самым устраняется основной недостаток действующей схемы построения региональных показателей качества воды, когда значение возрастает при росте «статистической неопределенности», связанной с уменьшением объема выборки.

Предложенный методологический подход учитывает факторы, определяющие содержание загрязняющих веществ (тяжелых металлов) в природных водах и пространственно-временную изменчивость их содержания в водных объектах бассейна Верхней Камы. Установление региональных показателей производилось на основе параметров естественного регионального фонового содержания регламентируемых веществ двойного генезиса. При этом под региональным фоном понимаются значения показателей качества воды, сформировавшихся под влиянием природных факторов, характерных для конкретного региона и не являющихся вредными для сложившихся экосистем. Наличие экологического благополучия в водном объекте определялось на основе исследований и анализа гидрохимического и биотического режима водных объектов бассейна Верхней Камы. Предлагаемые региональные показатели качества вод разрабатывались на основе фоновых показателей, которые характерны для данного региона и при которых на протяжении ряда лет благополучно функционирует экосистема.

Разработанный методологический подход реализован при построении региональных показателей качества воды бассейна Верхней Камы, являющегося приемником сточных вод одного из крупных промышленных комплексов бассейна р. Камы – Соликамско-Березниковского промузла.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Турчин П. В. Историческая динамика: на пути к теоретической истории. М.: УРСС, 2007. 368 с.
2. РД 52.24.622-2001 Методические указания. Проведение расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков. Утв. Росгидрометом, дата введ. 01.01.2001.
3. Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты. Утв. приказом Минприроды России от 12.12.2007 № 328, зарег. в Минюсте России 23.01.2008 № 10974.
4. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления речным стоком. М.: Наука, 1981. 255 с.
5. 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.
6. Беляев С.Д. Использование целевых показателей качества воды при планировании водоохранной деятельности // Водное хозяйство России. 2007. № 3. С. 3–17.
  7. Беляев С.Д., Могиленских А.К., Одинцева Г.Я. Целевые показатели качества воды Камского бассейна // Водное хозяйство России. 2009. № 5. С. 35–48.
  8. US EPA. 2000a. Nutrient Criteria Technical Guidance Manual: Lakes and Reservoirs, US Environmental Protection Agency. Washington. DC. EPA-822-B00-001.
  9. Крамер Г. Математические методы статистики. М.: Мир, 1975. 648 с.
  10. Лепихин А.П., Мирошниченко С.А. Особенности задания «фоновой» концентрации в естественных водотоках // Водное хозяйство России. 2002. № 3. С. 247–262.
  11. Лепихин А.П., Возняк А.А. Статистические функции распределения гидрохимических показателей качества воды // Водное хозяйство России. 2012. № 4. С. 21–32.
  12. Федеральный закон Российской Федерации от 21 июля 2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации».
  13. Федеральный закон Российской Федерации от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».
  14. Водный кодекс Российской Федерации от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ. Собрание законодательства РФ, 2006.

#### **Сведения об авторах:**

Веницианов Евгений Викторович, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий лабораторией охраны вод, ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук», 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3; e-mail: eugeny.venitsianov@gmail.com

Мирошниченко Сергей Анатольевич, канд. геогр. наук, старший научный сотрудник, лаборатория проблем гидрологии суши, ФГБУН «Горный институт Уральского отделения Российской академии наук», 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, д. 78-а; e-mail: kama2100@mail.ru

Лепихин Анатолий Павлович, д-р геогр. наук, профессор, заведующий лабораторией, ФГБУН «Горный институт Уральского отделения Российской академии наук», 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78; директор, ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал (КамНИИВХ), 614007, г. Пермь, ул. Народовольческая 33; e-mail: lepihin49@mail.ru

Губернаторова Татьяна Николаевна, канд. тех. наук, старший научный сотрудник, лаборатория охраны вод, ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук», 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3; e-mail: tatiana.ivp.ran@gmail.com