

## К вопросу развития технологий оценки степени загрязненности водных объектов на основе показателей комплексности загрязнения

В.П. Емельянова  , Н.Н. Оленникова 

 yemelyanova1945@mail.ru

ФГБУ «Гидрохимический институт», г. Ростов-на-Дону, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** Сформулированы задачи научно-методического обеспечения потребителей технологиями оценки степени загрязненности, качества воды водных объектов по гидрохимическим показателям. Выделено направление комплексной оценки степени загрязненности, качества воды водных объектов на основе научной обработки результатов химического анализа поверхностных вод, регулярно получаемых и пополняемых государственной наблюдательной сетью. Рассмотрены перспективные для практического использования сетевыми подразделениями Росгидромета методические аспекты комплексной оценки загрязненности воды, в т. ч. определены как одни из наиболее востребованных в этой сфере задачи по совершенствованию технологий анализа, интерпретации и представления данных о химическом составе поверхностных вод. **Методы.** Применены статистические методы обработки результатов химического анализа воды водных объектов в годовом режиме по 10–20 ингредиентам химического состава. **Результаты.** Изложена разработанная технология единой пятиступенчатой категоричности комплексности загрязненности воды водных объектов относительно нормативных требований, критериев высокого и экстремально высокого загрязнения. Предложены к использованию информативные и простые оценочные показатели на основе понятия «комплексность загрязненности воды», функционально дополняющие действующие в настоящее время оценки новым содержанием и назначением.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** водные объекты, загрязненность воды, комплексная оценка, химический состав, загрязняющие вещества, показатели качества.

**Для цитирования:** Емельянова В.П., Оленникова Н.Н. К вопросу развития технологий оценки степени загрязненности водных объектов на основе показателей комплексности загрязнения // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2023. № 6. С. 6–20. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_6\_1.

Дата поступления 11.04.2023.

### ON THE ISSUE OF THE DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR ASSESSING THE DEGREE OF WATER BODIES WATER POLLUTION BASED ON INDICATORS OF THE POLLUTION COMPLEXITY

Valentina P. Yemelyanova  , Natalia N. Olennikova 

 yemelyanova1945@mail.ru

Hydro/chemical Institute, Rostov-na-Donu, Russia

### ABSTRACT

**Relevance.** The article sets out the tasks of scientific/methodological support of consumers with techniques of assessment of the pollution rate and water bodies' water quality in terms of

hydro/chemical indicators. The article identifies the trend in integrated assessment of pollution rate and water bodies' water quality based on scientific processing of the surface water chemical analysis results regularly obtained and updated by the state observation network. The article discusses methodical aspects of the water pollution integrated assessment that are prospective for use in practice of Rosgidromet network sections. In particular, these include the tasks concerning improvement of analysis techniques and interpretation/presentation of data on surface waters' chemical composition. **Methods.** We have used statistical methods of the water bodies' water chemical analysis results processing in annual mode in terms of 10-20 ingredients of chemical composition. **Results.** We have described the developed technique of a unified five-step category system of the water bodies' integrated pollution rate in respect of regulatory requirements and criteria of high and extremely high pollution rate. We have propose to use informative and simple assessment indicators based on the notion of "water pollution complexity", that functionally supplement currently active assessment with new content and purpose.

**Keywords:** water bodies, water pollution, integrated assessment, pollution complexity category, pollution complexity coefficients, high pollution, extremely high pollution, chemical composition, pollutants, pollution assessment, quality indicators.

**For citation:** Yemelyanova V.P., Olennikova N.N. On the issue of the development of technologies for assessing the degree of water bodies water pollution based on indicators of the pollution complexity. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2023. No. 6. P. 6–20. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_6\_1.

Received 11.04.2023.

## ВВЕДЕНИЕ

Оптимальное решение стоящих перед водным хозяйством страны задач невозможно без объективной информации об уровне загрязнения водных объектов, разработки, внедрения и совершенствования научно обоснованных технологий анализа и обобщения данных о химическом составе поверхностных вод и оценки их качества. Совершенствование методических подходов, методологических аспектов комплексной оценки состояния водных объектов позволяет получить научно обоснованный и достаточно точный инструмент для принятия управленческих решений в ответственных экологических ситуациях. В этом направлении широкое практическое использование нашла систематизация параметров качества воды водных объектов с выделением групп относительных оценочных показателей.

Основу исследований в области оценки степени загрязненности, качества поверхностных вод составляют две группы гидрохимических показателей – натуральные и относительные [1]. Под относительными понимают показатели качества либо загрязненности поверхностных вод, получаемые расчетным путем с применением аналитических данных. Примером такого инструментария может служить широко используемый метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям<sup>1</sup>, представляющий, по сути, систему формализованных взаимосвязанных и взаимно обуславливающих оценочных коэффициентов, индексов и классификации

<sup>1</sup> РД 52.24.643-2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеоздат, 2003. 49 с.

степени загрязненности, качества воды водных объектов с учетом комплекса обнаруживаемых в ней химических веществ.

Накопленный многолетний опыт применения системы комплексной оценки в государственной наблюдательной сети послужил основанием для проведения работ по развитию группы относительных показателей на основе понятия «комплексность загрязненности воды» для расширения номенклатуры оценочных признаков, усовершенствования процедуры учета количества и разнообразия идентифицируемых в водных объектах химических веществ.

Цель проведенного исследования – совершенствование содержания и формы информационной продукции о качестве поверхностных вод, повышение результативности комплексной оценки степени загрязненности водных объектов.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование основано на результатах химического анализа поверхностных вод, данных режимных гидрохимических наблюдений государственной наблюдательной сети Российской Федерации о качестве поверхностных вод, формирующихся в различных природных и антропогенных условиях Балтийского, Черноморского, Азовского, Баренцевского, Карского, Восточно-Сибирского, Каспийского и Тихоокеанского гидрографических районов. Расчетные данные относительных гидрохимических показателей комплексной оценки степени загрязненности воды водных объектов получены с использованием программного комплекса «Гидрохим ПК. UKISV-сеть» в соответствии с РД 52.24.643-2002 с учетом официально действующих нормативных требований на основе информации государственной наблюдательной сети Росгидромета за 2008–2021 гг.

В рамках исследования применен метод комплексной оценки загрязненности поверхностных вод<sup>1</sup> [1–3] по гидрохимическим показателям, а также статистические методы обработки результатов химического анализа воды в годовом режиме по 10–20 ингредиентам химического состава. Проведена оценка и сравнительный анализ расчетных данных о комплексности загрязненности воды, комплексности загрязненности воды высокого и экстремально высокого уровней в пунктах стационарных режимных наблюдений за химическим составом воды водных объектов различной категории в каждом гидрографическом районе различных территориальных образований. Анализируемые данные характеризовались многокомпонентностью, значительной вариабельностью во времени и пространстве, различием факторов формирования, антропогенной нагрузки.

Анализ и обобщение литературных данных [4–16] показали, что в течение длительного периода наблюдается активный рост научных разработок в области изучения качества поверхностных вод. Значимость и актуальность вопросов комплексной оценки загрязненности, качества поверхностных вод способствуют методологическому и методическому развитию оценочных гидрохимических исследований, модернизации оценок от простых к более информативным, необходимости учета большого количества факторов фор-

мирования качества вод. Наибольший результат был достигнут в разработке единых требований к комплексной оценке, основывающихся на выборе и группировке приоритетных показателей. Остаются значимыми некоторые проблемные вопросы, характер и степень изученности которых в настоящее время обуславливают целесообразность дальнейшего совершенствования и развития методологии оценивания качества поверхностных вод.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Заключение о качестве воды водных объектов определяют как достоверность данных химического анализа, так и обоснованность и доказательность последующих выводов о степени загрязненности, качестве исследуемых вод, тенденциях их изменения во времени и пр. Без систематизации, оперативной и тщательной обработки фактических данных о степени загрязненности поверхностных вод, без глубокого и всестороннего анализа сведений об уровне их загрязнения и его колебаниях во времени с учетом многообразия пространственных различий водных объектов невозможно непосредственно по фактическим результатам химического анализа получить выводы и оценки, необходимые для принятия управленческих решений.

Одним из важных направлений деятельности в области охраны поверхностных вод от загрязнения является научно-методическое обеспечение потребителя технологией оценки степени загрязненности воды водных объектов. Эта сфера гидрохимических исследований включает множество задач, к наиболее важным из которых на текущий момент можно отнести следующие:

- развитие методологии и совершенствование методов оценки, в т. ч. комплексной оценки качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям;
- развитие методических подходов к разработке гидролого-гидрохимических методов оценки качества поверхностных вод;
- совершенствование методических подходов к оценке качества воды трансграничных водных объектов с учетом гидрохимических и гидролого-гидродинамических показателей;
- разработку методов и способов оценки качества воды с учетом комплекса ее свойств – химических, гидробиологических, токсикологических и др.;
- оптимизацию технологий анализа и интерпретации данных о загрязненности поверхностных вод, форм и содержания информационной продукции, развитие технологий информационного обеспечения потребителей разного уровня;
- совершенствование технологий представления данных о загрязненности поверхностных вод;
- широкое внедрение усовершенствованных методов, технологий и технических средств в практику мониторинга.

Работы по первому из обозначенных направлений, сформулированные ранее ФГБУ «Гидрохимический институт», представлены системой натуральных и относительных показателей загрязненности воды водных объектов [1–3] и внедрены в практическую деятельность государственной наблюдатель-

ной сети, а также других заинтересованных потребителей. Основой выбора оптимальной стратегии принятия управленческих решений и регулирования деятельности по наблюдению за качеством воды водных объектов при этом служит преобразованная по строго соблюдаемой технологии объективная режимная информация о загрязненности воды в пунктах и створах наблюдений. Существенную роль в этом сегменте играют оперативность, систематизация и структуризация данных режимного мониторинга о химическом составе поверхностных вод в рамках режимно-справочного банка данных «Качество поверхностных вод» (РСБД КПВ), обеспечивающего интеграцию, обработку и реализацию поступающих от подразделений государственной наблюдательной сети сведений.

Функционирование РСБД КПВ позволяет в автоматическом режиме оперировать совокупностью текущих и многолетних рядов данных о химическом составе поверхностных вод режимно-справочного характера на основе автоматизированных технологий, предусматривающих использование как типовых, так и оригинальных программных средств, отражающих специфику гидрохимических исследований. Именно нестандартные, квалифицированно учитывающие своеобразие массивов аналитических данных о химическом составе воды водных объектов, в т. ч. в области оценки степени загрязненности и качества поверхностных вод, программные средства обеспечивают смысловую, в достаточной степени обоснованную и весьма многообразную интерпретацию данных.

Гидрохимическая информация включает два вида данных – натуральные и относительные [1], которые взаимно обуславливают друг друга. Натуральные данные – это абсолютные показатели химического состава поверхностных вод, определяемые аналитическим путем. Под относительными понимают показатели, получаемые расчетным методом в процессе преобразования аналитических данных, т. е. формализованные. Относительные показатели качества воды водных объектов существенно видоизменяют и обогащают первоначальные данные.

В зависимости от поставленных задач могут быть разработаны различные виды относительных показателей, различающиеся количеством и составом отображаемых свойств воды водных объектов, степенью обобщения и формализации информации, формой выражения в зависимости от их физического смысла, размерности и пр. На рис. 1 представлена систематизация относительных показателей (ОП) загрязненности качества воды водных объектов с учетом количества отображаемых параметров химического состава, степени их обобщения и формализации, формам выражения. В сложной иерархии характеристик химического состава и свойств поверхностных вод относительные показатели загрязненности и качества несут в себе элементы оценки качества воды водных объектов либо полностью ассоциируются с классом оценок. Значительная часть относительных показателей в той или иной мере являются оценочными, что отличает их от показателей измерения.



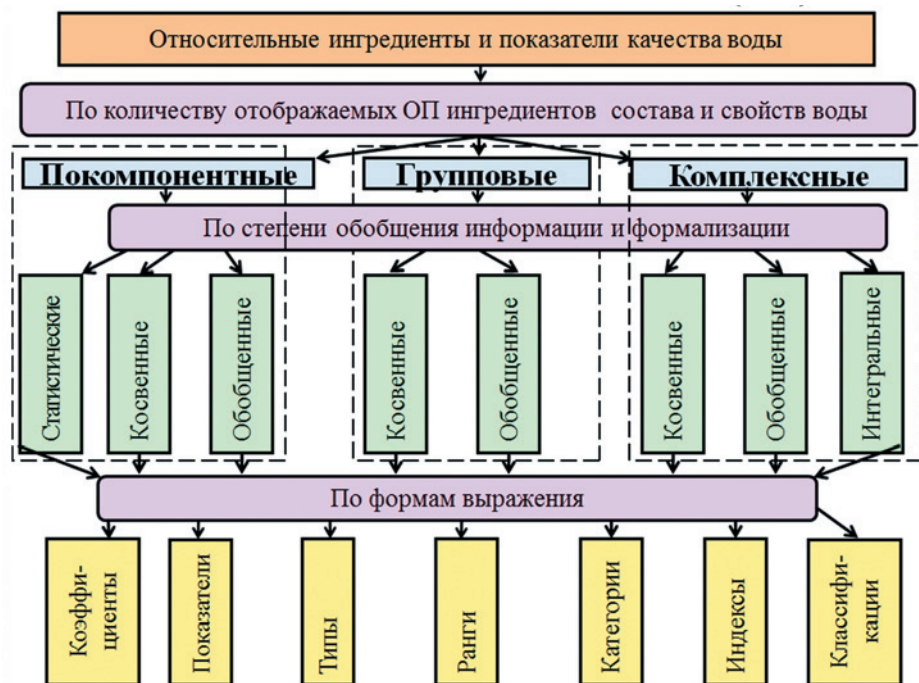


Рис. 1. Виды относительных показателей качества воды водных объектов [2].  
Fig. 1. Types of relative water bodies water quality indicators [2].

С учетом количества отображаемых показателей, ингредиентов состава и свойств поверхностных вод выделяются три основных вида относительных оценок: покомпонентные, групповые, комплексные. По степени формализации можно выделить четыре их подвида: статистические, косвенные, обобщенные и интегральные. Подвиды косвенных и обобщенных относительных показателей характерны для каждого из основных видов и могут встречаться как в покомпонентных, так и в комплексных оценках. По формам выражения относительные характеристики разделяются на коэффициенты, показатели, индексы, классификации (равно как и типы), ранги, категории и т. п.

Для формирования целостного подхода к оценке качества воды водных объектов недостаточно проводить традиционный анализ их химического состава с использованием только концентраций в воде или результатов их статистической обработки. Необходимо разрабатывать и использовать на практике более разнообразные способы оценки результатов химического анализа воды для обоснования выводов и заключений о загрязненности, качестве воды и т. д. [1, 3].

Многими авторами предложены различные подходы к оценке качества поверхностных вод [3–14]. Большинство из них индивидуальны и рассматривают различные стороны изучаемой проблемы в разнообразных аспектах.

Накопленный многолетний опыт практического применения системы показателей комплексной оценки<sup>1</sup> [1, 2, 4, 5] позволил проводить, в частности, исследования по развитию используемых в работе государственной наблюдательной сети группы коэффициентов на основе понятия «комплексность за-

грязненности воды» с целью расширения спектра, номенклатуры оценок, что позволяет выполнять более разносторонний анализ и оценку первичных гидрохимических данных.

Для обеспечения инновационной технологии функционирования государственной сети наблюдений и распространения информации о загрязненности поверхностных вод изучена возможность усовершенствования практикуемого в настоящее время метода комплексной оценки степени загрязненности, качества воды водных объектов<sup>1</sup>. Один из аспектов представленного направления исследований основан на учете все возрастающего разнообразия и количества идентифицируемых в воде водных объектов химических параметров загрязнения, т. е. на комплексности загрязненности воды.

Количество обнаруженных в воде водного объекта ингредиентов и показателей качества – простая и достоверная характеристика загрязненности водного объекта. Понятие «комплексность загрязненности воды водных объектов» отражает соотношение числа разнородных элементов химического состава, по которым наблюдается нарушение нормативных требований по их содержанию в воде, и общего количества изучаемых компонентов<sup>1</sup>. Рост комплексности загрязненности воды указывает на то, что превышение ПДК происходит по большему перечню ингредиентов и на формирование качества воды оказывает значительное влияние антропогенный фактор, а значит, более обоснованным становится использование при оценке качества воды комплексного подхода.

Количественной характеристикой комплексности загрязненности воды является коэффициент комплексности загрязненности. Коэффициент комплексности загрязненности (К, %) – относительный косвенный показатель степени загрязненности поверхностных вод. Он показывает соотношение в каждой пробе воды количества загрязняющих веществ, содержание которых в течение календарного года превышает действующие нормативы либо границы естественных колебаний концентраций, к общему количеству изучаемых компонентов химического состава воды водных объектов [2]. Расчет коэффициентов комплексности каждого вида проводится по обоснованно подготовливаемым перечням показателей загрязненности воды, которые должны включать как сведения по основному химическому составу, характерному для рассматриваемого водного объекта в изучаемом створе, пункте наблюдений, так и возможным специфическим загрязняющим веществам<sup>1</sup>, что обеспечивает сравнимость результатов как с гидрографической точки зрения, так и по административным делениям и пр.

Привязка сроков отбора проб воды водных объектов на химический анализ к характерным фазам их гидрологического режима в соответствии с одним из основных принципов организации государственного режимного мониторинга за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши<sup>2</sup> в определенной степени позволяет учитывать влияние внутри- и межгодовой изменчивости водности водных объектов при проведении комплексной оценки загрязненности поверхностных вод.

<sup>2</sup> РД 52.24.309-2016. Организация и проведение режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши. Ростов-на-Дону: Росгидромет, ФГБУ «ГХИ», 2011. 103 с.

Примеры функционирования коэффициента комплексности загрязненности воды ( $K$ , %) различных водных объектов Каспийского и Тихоокеанского гидрографических районов по данным государственной наблюдательной сети за многолетний период, их внутри- и межгодовых изменений во времени и пространстве показаны на рис. 2. На текущий момент при оценке загрязненности поверхностных вод используют показатели комплексности загрязненности воды ( $K$ , %), комплексности высокой и экстремально высокой загрязненности воды ( $K_{вз}$  и  $K_{эвз}$ , %), относящиеся к виду относительных, а по степени формализации к подвиду косвенных оценок [1].

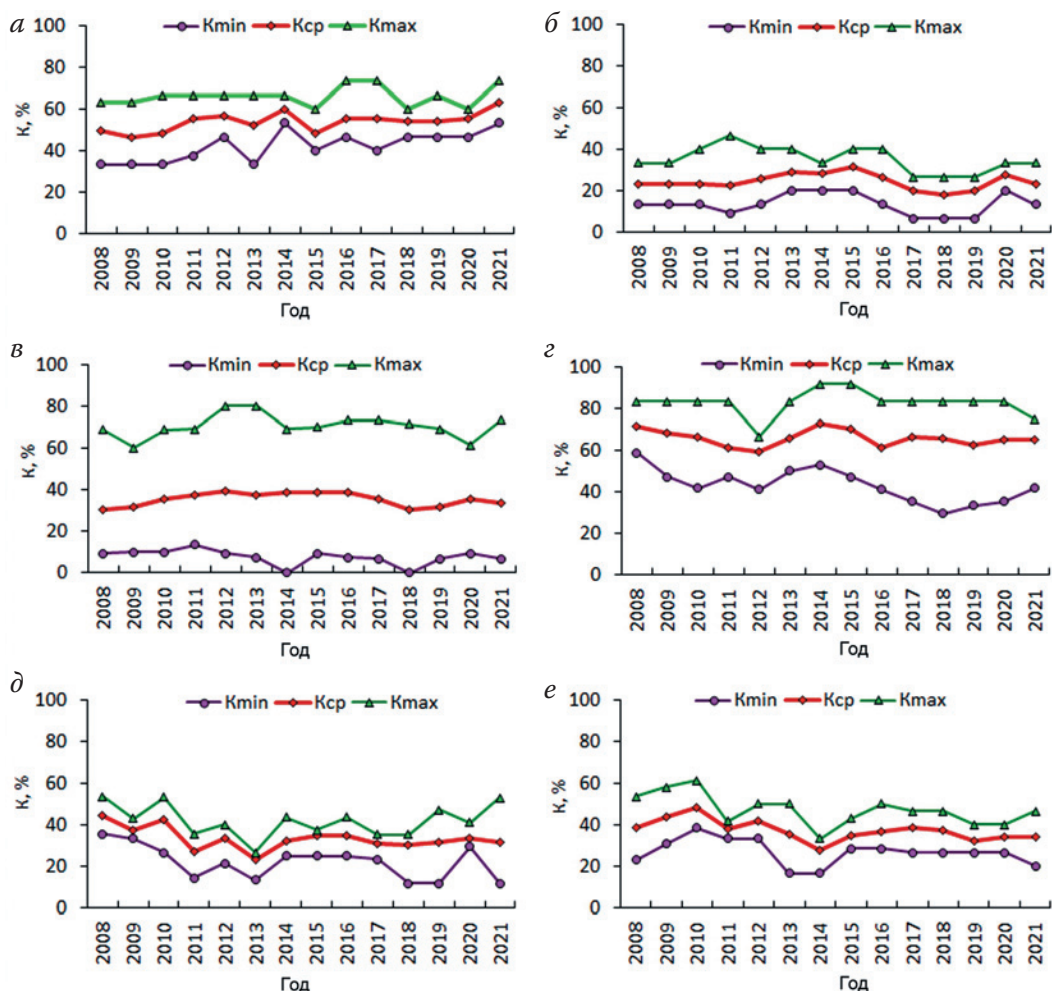
При проведении расчетов каждого из трех показателей с целью их использования для сравнительной оценки загрязненности воды в различных створах, пунктах наблюдений, участках водных объектов используют исходные данные равной представительности, т. е. должны быть идентичными перечень учитываемых ингредиентов, число взятых для рассмотрения результатов анализа, их полнота, распределение в течение рассматриваемого периода времени и т. д.

Коэффициенты комплексности высокого и экстремально высокого уровней загрязненности ( $K_{вз}$ , % и  $K_{эвз}$ , %) являются относительными косвенными показателями загрязненности воды «высокого» и «экстремально высокого» уровней. Все три коэффициента учитывают состав и количество идентифицируемых в каждой пробе воды химических веществ, т. е. степень антропогенной нагрузки, ее изменение во времени. Накопленный многолетний опыт практического использования  $K$ ,  $K_{вз}$  и  $K_{эвз}$  позволил продолжить дальнейшее развитие этого несложного, но эффективного и легко интерпретируемого направления оценки по отдельным коэффициентам и в целом как системы.

Теоретически коэффициенты комплексности значительно зависят как от характеристик природных факторов формирования химического состава воды, так и от характера и степени антропогенного воздействия. Все три коэффициента комплексности загрязненности выражаются в процентах, от 0 до 100 %. Коэффициенты весьма чувствительны, варьируют во времени и в пространстве.

По значениям  $K$ ,  $K_{вз}$ ,  $K_{эвз}$ , в соответствии с  $c^1$ , определяют категории загрязненности воды: I категория – по комплексности загрязненности; II категория – по комплексности высокого загрязнения; III категория – по комплексности экстремально высокого уровня загрязненности. Категории, определенные по  $K$ ,  $K_{вз}$ ,  $K_{эвз}$ , характеризуют различные уровни загрязнения воды водных объектов и имеют различный физический смысл, поэтому пользуются ими параллельно. Получаемые характеристики дополняют общую картину загрязнения каждой пробы и набора проб за оцениваемый период. По каждому коэффициенту комплексности, как правило, фиксируют отличия встречаемости проб воды с разными уровнями загрязнения. Если характеристики не совпадают, ситуацию рассматривают с разных аспектов – в режиме хронического загрязнения, наблюдаемого большую часть времени года по  $K_1$ , дополняют ее данными аварийного загрязнения по  $K_{вз}$  и рассматривают как чрезвычайную ситуацию по  $K_{эвз}$ .





**Рис. 2.** Комплексность загрязненности воды водных объектов бассейна р. Камы и бассейна р. Амур: *а* – р. Белая, 10,5 км ниже г. Стерлитамака; *б* – р. Инзер, в черте д. Азово; *в* – бассейн р. Белой; *з* – р. Дачная, в черте г. Арсеньева; *д* – р. Левая Силинка, 3 км ниже пос. Горный; *е* – р. Зeya, 1 км ниже г. Свободный.  
 Fig. 2. The complexity of water pollution of individual water bodies of the Kama River basin and the Amur River basin: *a*– the Belaya River, 10.5 km downstream Sterlitamak; *б* – the Inzer River, within the village of Azovo; *в* – the basin of the Belaya River (as a whole); *з* – the Dachnaya River, within the city of Arsenyev; *д* – the Left Silinka River (Silinka), 3 km downstream the settlement of Mountain; *е* – the Zeya River, 1 km downstream the city of Svobodny

С целью развития этого вида оценки и расширения сферы его использования разработана и апробирована новая процедура установления категориальности, в соответствии с которой устанавливается пятиступенчатая (от I до V) единая система категориив загрязненности воды по комплексности загрязнения, основанная на учете одновременно всех оцениваемых критериальных уровней – 1 ПДК, ВЗ и ЭВЗ.

Целью этой методики является существенное, аргументированное сжатие полного объема получаемой государственной наблюдательной сетью анали-

тической информации за определенный временной интервал, чаще за календарный год, т. е. установление единой категории степени загрязненности воды по комплексности загрязнения с учетом всех трех качественно различимых уровней загрязненности и их встречаемости.

За основу установления единой категории загрязненности воды принята бонитировка значений одновременно всех трех видов коэффициентов комплексности относительно нормативных требований и критериев обнаружения случаев высокого и экстремально высокого загрязнения воды (табл. 1). В табл. 1 приведены детализированные разбивки полных интервалов возможных значений коэффициентов комплексности для каждого показателя комплексности загрязненности воды одной пробы. При этом полные диапазоны каждого из значений  $K$ ,  $K_{ВЗ}$  и  $K_{ЭВЗ}$  разбиты на три качественно различимые последовательные интервала характера загрязненности воды по числу наблюдаемых химических веществ, которые устанавливаются по единичным, по нескольким и по комплексу обнаруженных загрязняющих веществ.

**Таблица 1.** Бонитировка качественно различимых интервалов значений  $K$ ,  $K_{ВЗ}$ ,  $K_{ЭВЗ}$  в пределах общих диапазонов различных видов коэффициентов от 0 до 100 %  
Table 1. Bonitization of qualitatively distinguishable intervals of values of  $K$ ,  $KVZ$ ,  $KVZ$  within the general ranges of various types of coefficients from 0 to 100 %

Показатель комплексности загрязненности воды	Характер загрязненности воды водного объекта по числу ингредиентов и показателей качества воды					
	по единичным веществам		по нескольким веществам		по комплексам веществ, для $K_{ВЗ}$ и $K_{ЭВЗ}$ по группам веществ	
	№ интервала	интервал значений, %	№ интервала	интервал значений, %	№ интервала	интервал значений, %
$K$	(1)	(0; 10)	(2)	[10; 40)	(3)	[40; 100]
$K_{ВЗ}$	(4)	(0; 7)	(5)	[7; 15)	(6)	[15; 100]
$K_{ЭВЗ}$	(7)	(0; 5)	(8)	[5; 10)	(9)	[10; 100]

*Примечание:* Интервалы обозначают следующим образом: число слева – начало интервала, число справа – конец интервала; круглая скобка показывает, что стоящее при ней значение в интервал не входит; квадратная скобка – значение входит в интервал.

Разработанная технология одновременно учитывает и отображает количественные и качественные различия по каждой выделяемой категории соотношения в оцениваемой пробе воды уровней комплексности загрязнения (см. строки  $K$ ,  $K_{ВЗ}$  и  $K_{ЭВЗ}$ ), (по ПДК, ВЗ и ЭВЗ) и встречаемости каждого вида в зависимости от числа ингредиентов и показателей качества (графы «по единичным», «по нескольким веществам», «по комплексам веществ»). Каждому сочетанию интервалов по распространенности определенного уровня загрязнения присваивают последовательно порядковый номер (от 1 до 9).

Для определения категории загрязненности воды по комплексности загрязнения с учетом уровней загрязнения и характера загрязненности воды по

каждому из определяемых в пробе загрязняющих веществ одновременно проводится идентификация существенности различий уровней загрязненности отдельными веществами по значениям каждого из критериев (ПДК, ВЗ и ЭВЗ). Учитываются характер комплексности загрязнения в зависимости от соотношения числа ингредиентов и показателей качества воды, изучаемых в водном объекте, и количеством тех из них, по которым фиксируются наблюдаемые значения комплексности загрязненности воды в соответствии с градациями значений  $K$ ,  $K_{ВЗ}$ ,  $K_{ЭВЗ}$  номер интервала. При этом выделяют три группы характера загрязненности – по единичным, по нескольким, по комплексам загрязняющих веществ.

Для каждой группы разработаны частные интервалы значений  $K$ ,  $K_{ВЗ}$ ,  $K_{ЭВЗ}$  по экспертным оценкам соответствующие между собой по значимости для оценки загрязненности воды (табл. 2). По номеру интервала или наблюдаемому сочетанию номеров в рассматриваемом створе, пункте наблюдений устанавливают категорию загрязненности воды за анализируемой период времени.

**Таблица 2.** Установление категории загрязненности воды водных объектов комплексом фиксируемых загрязняющих химических веществ  
Table 2. Establishment of the category of water pollution of water bodies by a complex of polluting chemicals to be fixed

Категория загрязненности воды водных объектов	Номера интервалов, сочетания интервалов комплексности загрязнения воды, соответствующие категориям загрязненности					
I	(1);	(2);	(1) (4)			
II	(1) (5); (4);	(1) (7); (4) (7)	(1) (4) (7);	(1) (5) (7);	(2) (4)	(2) (7)
III	(1) (4) (8); (3) (4) (7);	(1) (6); (4) (8);	(1) (8); (5);	(2) (4) (7); (5) (7);	(3); (5) (8);	(3) (4); (7);
IV	(1) (4) (9); (2) (4) (8) (2) (8); (2) (9);	(1) (6) (7); (2) (5); (3) (4) (8); (1) (9);	(1) (5) (8); (2) (5) (8); (3) (5); (6)	(1) (6) (8); (2) (5) (9); (3) (5) (7); (6) (7);	(1) (8); (2) (6); (3) (7); (8);	(2) (6) (7); (3) (8); (6) (8);
V	(1) (5) (9); (3) (4) (9); (3) (6) (8); (5) (9);	(1) (6) (9); (3) (5) (8); (3) (6) (9); (6) (9)	(2) (4) (9); (3) (5) (9); (3) (9); (9);	(2) (6) (8); (3) (6); (4) (9);	(2) (6) (9); (3) (6) (7);	

Разработанная технология установления категории загрязненности воды водных объектов комплексом обнаруженных загрязняющих веществ в общих чертах основывается на результатах расчета  $K$ ,  $K_{ВЗ}$ ,  $K_{ЭВЗ}$  в каждой пробе воды в каждом створе наблюдений отдельного водного объекта за химическим со-

ставом воды. В пределах государственной наблюдательной сети это производится с использованием программы «Гидрохим ПК. UKISV-сеть». По каждому их полученных значений  $K$ ,  $K_{ВЗ}$  и  $K_{ЭВЗ}$  определяют, в соответствии с табл. 1, номер интервала для одной пробы воды или совокупность номеров для общего числа проб в течение календарного года. Затем по табл. 2 и выделенному номеру, либо набору номеров, выделяют соответствующее расчетным значениям их сочетание с последующим выходом на категорию загрязненности воды водного объекта.

Количество номеров интервалов не должно превышать три, т. к. используется три призначных характеристики. При определении сочетаний номеров интервалов значений коэффициентов комплексности загрязненности воды, соответствующих одной из категорий, расчет проводят по каждой пробе воды в створе наблюдений.

Далее выполняется группировка частных интервалов в возможные сочетания, характеризующиеся по экспертным оценкам как однородные по их загрязняющему эффекту и соответствующие определенной категории (табл. 2) загрязненности воды водного объекта по комплексности загрязнения от I «незначительная» до V «очень высокая». Дополнительно к процедуре выделения категорий загрязненности воды по комплексности загрязнения разработаны и апробированы также три вида новых оценок, характеризующих как текущее состояние, так и межгодовую динамику загрязненности воды химическими веществами.

Предложена дополнительная модификация коэффициента комплексности загрязненности – показатель межгодовой изменчивости загрязненности воды  $\Pi_{и}$ . Этот коэффициент отличается от применяемых тем, что соотносится с полной программой наблюдений за химическим составом воды в створах и пунктах наблюдений. Показатель межгодовой изменчивости загрязненности воды ( $\Pi_{и}$ ) характеризует изменения, произошедшие по всему перечню определяемых в воде веществ по сравнению с предыдущим периодом (чаще календарным годом). Этот вид оценки также можно использовать отдельно или совместно для характеристики трех качественно различных уровней загрязнения относительно 1 ПДК, ВЗ и ЭВЗ:  $\Pi_{и1}$ ,  $\Pi_{иВЗ}$ ,  $\Pi_{иЭВЗ}$ .

Расчет значения показателя межгодовой изменчивости ( $\Pi_{и}$ ) проводят по результатам химического анализа:

а) для каждой пробы воды за оцениваемый период времени (для государственной наблюдательной сети – календарный год) по формуле:

$$\Pi_{и_{fj}} = \frac{N'_{п_{рj}}}{N_{п_{рj}}} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где  $\Pi_{и_{fj}}$  – показатель изменчивости загрязненности воды в  $f$ -м результате анализа для  $j$ -го створа наблюдений;

$N'_{п_{рj}}$  – число нормируемых ингредиентов и показателей химического состава воды в  $f$ -м результате анализа для  $j$ -го створа наблюдений, по которым обнаруживают концентрации в воде или значения показателя выше нормативного;

$N_{npfj}$  – число нормируемых ингредиентов и показателей химического состава в  $f$ -м результате анализа для  $j$ -го створа наблюдений, определяемых в воде водных объектов в соответствии с программой наблюдений.

б) за оцениваемый временной интервал (для государственной наблюдательной сети – гидрологический сезон, квартал, календарный год и др.) оценивают средним значением показателя изменчивости:

$$\Pi_{I_{kj}} = \frac{\sum_{f=1}^{n_{I_{kj}}} \Pi_{I_{fj}}}{n_{kj}} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где  $\Pi_{I_{kj}}$  – показатель изменчивости загрязненности воды в  $j$ -м створе за  $k$ -й период времени;

$n_{I_{kj}}$  – число результатов химического анализа воды, для которых рассчитаны значения показателя изменчивости в  $j$ -м створе за  $k$ -й период времени.

Таким образом, «показатель изменчивости ( $\Pi_{I_{kj}}$ )» представляет собой относительный косвенный показатель комплексности загрязненности воды водного объекта в створе, пункте наблюдений, характеризующий динамику количества и состава загрязняющих веществ при сравнении четко ограниченных периодов времени (календарный год, квартал, многолетний период и др.).

В условиях режимного мониторинга  $\Pi_{I_{kj}}$  отражает временные или пространственные колебания в составе загрязненности воды водных объектов по полному перечню химических параметров, охватываемых программой наблюдений, а также характеризует изменчивость спектра и количества загрязняющих воду веществ с неустойчивым, в отдельные периоды случайным и кратковременным режимом загрязненности ими поверхностных вод.

## ВЫВОДЫ

Рассмотренные в статье предложения по развитию методических подходов к комплексной оценке загрязненности воды водных объектов основаны на результатах многолетнего практического внедрения метода комплексной оценки загрязненности поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям.

Выделено и развито как перспективное, весьма простое в применении и одновременно достаточно информативное, направление оценки степени загрязненности воды по комплексности загрязнения, учитывающее изменение спектра и количества загрязняющих воду веществ в каждой отобранной пробе, класс опасности, распространенность, уровни загрязненности обнаруживаемых в поверхностных водах химических веществ, их количество и др. Кратко охарактеризованы результативность и доступность используемых оценок на основе учета комплексности загрязненности воды в створах, пунктах наблюдений, отмечены возможные перспективы повышения чувствительности, точности коэффициентов комплексности загрязнения химическими веществами.

Разработана, апробирована и предложена к практическому использованию технология установления единой категории загрязненности воды по комплексности загрязнения одновременно с учетом трех критериальных уровней (ПДК, ВЗ и ЭВЗ), позволяющая однозначно и оперативно охарактеризовать за-



грязненность воды с учетом комплекса обнаруживаемых загрязняющих веществ с качественно различимыми уровнями загрязнения.

Разработан новый, очень простой, однако достаточно чувствительный оценочный коэффициент «показатель изменчивости ( $\Pi_{и}$ )», позволяющий однозначно и обоснованно оценить межгодовые и многолетние колебания загрязненности воды разного уровня как относительно допустимого, так и высокого, а также экстремально высокого видов загрязнения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Емельянова В.П. Методология и методы комплексной оценки загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. г. Ростов-на-Дону, 2006. 25 с.
2. Справочник по гидрохимии. Справочник специалиста / под ред. А.М. Никанорова. Л.: Гидрометеиздат, 1989. С. 241–250.
3. Никаноров А.М. Научные основы мониторинга качества вод. СПб.: Гидрометеиздат, 2009. 576 с.
4. Никаноров А.М., Емельянова В.П. Комплексная оценка качества поверхностных вод суши // Водные ресурсы. 2005. Т. 32. № 1. С. 61–69.
5. Емельянова В.П., Данилова Г.Н. Опыт предварительной оценки степени загрязнения водных объектов по величине условного коэффициента комплексности // Мат-лы Всесоюзной конф., Харьков, 1979. С. 126–128.
6. Найто М. Упорядочение индексов, характеризующих состояние окружающей среды // Канкё канри. Токио. Япония. 1983. № 7. С. 2–17.
7. Bilgrami K.S., Kumar Sheo, Sahay S.S. Use of quantitative and qualitative indices for evaluating water quality of the Ganga // *Proceeding of the Indian National Science Academy*. В. 1993. Vol. 59. No.1. P. 59–65.
8. Deininger R.A. Newsome D.H. Water quality indices – a Comparison of Experts' Opinions // *Water Science Technology York*, 1984. Vol. 16. No. 5–7. P. 499–510.
9. Dojlodo I., Woyciechowska Y., Stojda A. Index jakosci wodi a dotychczas stosowana metoda // *Cospodarcka wodna*. 1986. Vol. 46. No. 1. P. 23–25.
10. House Margaret A. A water quality index vor river management // *Institute water and environmental management*, 1989. Vol. 3. No. 14. P. 336–344.
11. House M., Ellis I.B. Water quality index: An additional management tool? // *Water Ski and Technology*, 1981. Vol. 13. No. 17. P. 414–423.
12. Lascombe C., Cardot D. Connaissance et cartographie de la pollution de eaux corantes // *Bulleten Ecology*, 1984. Vol. 15. No. 1. P. 39–45.
13. Lohani B.N., Mustapha N. Stochastic water quality index // *Environmental Technology Letters*, 1982. Vol. 3. No. 11. P. 521–528.
14. Sharifi Mozafar / Assessment of surface quality by an index system in Anzall basin // *YAHS Publ*. 1990. No. 197. P. 63–171.
15. Simonyi Peter. A new cartographical method for mapping running waters/ // 14<sup>th</sup> Wald Conf. Inf. Cartogr. Assoc. Budapest, 17–24 Aug., 1989: Abstr. Budapest, 1989. 279 pp.
16. Smith David G. A new form of water quality index for rivers and streams // *Water Science And Technologies*, 1989. Vol. 21. No. 2. P. 123–127.

### REFERENCES

1. Yemelyanova V.P. Methodology and methods of integrated assessment of surface water pollution rate by the hydro/chemical indicators. Abstract of the candidate of geographical science thesis. Rostov-na-Donu, 2006. 25 p. (In Russ.).
2. Reference book on hydro/chemistry. Expert's reference book. Edited by. A.M. Nikanorov. L.: Gidrometeoizdat, 1989. Pp. 241–250 (In Russ.).
3. Nikanorov A.M. Scientific foundations of water quality monitoring. SPb.: Gidrometeoizdat. 2009. 576 p. (In Russ.).

4. Nikanorov A.M., Yemelyanova V.P. Integrated assessment of inland surface water quality. *Water resources*. 2005. Vol. 32. №1. P. 61–69 (In Russ.).
5. Yemelyanova V.P., Danilova G.N. Experience in tentative assessment of the water bodies' pollution rate according to the value of the complexity index. *Proceedings of the All-Union conference*. Kharkov, 1979. P. 126–128 (In Russ.).
6. Nayto M. Ordering of the indices that characterize the environment status. *Kankë kanri*. Tokio, Japan, 1983. № 7. P. 2–17 (In Russ.).
7. Bilgrami K.S., Kumar Sheo, Sahay S.S. Use of quantitative and qualitative indices for evaluating water quality of the Ganga. *Proceeding of the Indian National Science Academy*. B. 1993. 59. № 1. P. 59–65.
8. Deininger R.A., Newsome D.H. Water quality indices – a Comparison of Experts' Opinions". *Water Science and Technology*. York, 1984. 16. № 5–7. P. 499–510.
9. Dojlodo I., Woyciechowska Y., Stojda A. Index jakosci wodi a dotychczas stosowana metoda. *Cospodarcka wodna*. 1986. Vol. 46. № 1. P. 23–25.
10. House Margaret A. A water quality index vor river management. *Institute water and environmental management*, 1989. 3. № 14. P. 336–344.
11. House M., Ellis I.B. Water quality index: An additional management tool? *Water Science and Technology*. 1981. 13. № 17. P. 414–423.
12. Lascombe C., Cardot D. Connaissance et cartographie de la pollution de eaux corantes. *Bulletin of Ecology*. 1984. 15. N 1. P. 39–45.
13. Lohani B.N., Mustapha N. Stochastic water quality index. *Environmental Technology Letters*, 1982. 3. № 11. P. 521–528.
14. Sharifi Mozafar. Assessment of surface quality by an index system. *Anzall basin. YAHS Publ.* 1990. № 197. P. 63–171.
15. Simonyi Peter. A new cartographical method for mapping running waters. 14th Wald Conf. *Inf. Cartogr. Assoc.* Budapest, 17-24 Aug., 1989; Abstr. Budapest, 1989. P. 279.
16. Smith David G. A new form of water quality index for rivers and streams. *Water Science and Technology*. 1989. 21. № 2. P. 123–127.

#### Сведения об авторах:

**Емельянова Валентина Петровна**, канд. геогр. наук, старший научный сотрудник, лаборатория научно-методического руководства системой гидрохимических наблюдений и обобщения информации, ФГБУ «Гидрохимический институт», 344090, Россия, г. Ростов-на-Дону, пр-т Стачки, 198; ORCID: 0009-0004-3634-1445; e-mail: yemelyanova1945@mail.ru

**Оленикова Наталия Николаевна**, младший научный сотрудник, лаборатория научно-методического руководства системой гидрохимических наблюдений и обобщения информации, ФГБУ «Гидрохимический институт», 344090, Россия, г. Ростов-на-Дону, пр-т Стачки, 198; ORCID: 0009-0003-5504-5222; e-mail: listopadova-natalija@rambler.ru

#### About the authors:

**Valentina P. Yemelyanova**, Candidate of Geological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Scientific and Methodological Guidance of the System of Hydro/chemical Observations and Generalization of Information, "Hydro/chemical Institute", pr. Stachki, 198, Rostov-on-Don, 344090, Russia; ORCID: 0009-0004-3634-1445; e-mail: yemelyanova1945@mail.ru

**Natalia N. Olenikova**, Junior Researcher, Laboratory of Scientific and Methodological Guidance of the System of Hydro/chemical observations and Generalization of Information, "Hydrochemical Institute", pr. Stachki, 198, Rostov-on-Don, 344090, Russia; ORCID: 0009-0003-5504-5222; e-mail: listopadova-natalija@rambler.ru