

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ОПАСНОСТИ В ГИДРОСФЕРЕ ECOLOGICAL PROBLEMS AND HAZARDS IN THE HYDROSPHERE

УДК 556.114.001.24(282.247.326.2)

DOI: 10.34753/HS.2020.2.3.272

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РАСЧЁТОВ ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА СТОКА ПО ДАННЫМ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Э.А. Румянцева¹, Н.Н. Бобровицкая¹,
М.В. Шмакова²

¹Федеральное государственное бюджетное
учреждение «Государственный гидрологический
институт», г. Санкт-Петербург, Россия;

²Институт озераедения Российской академии
наук – обособленное структурное подразделение
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки «Санкт-Петербургский
Федеральный исследовательский центр
Российской академии наук», г. Санкт-
Петербург, Россия
bobrovi@ggi.nw.ru

THE USE OF AUTOMATED TECHNOLOGY TO CALCULATE THE RUNOFF QUALITY CHARACTERISTICS ACCORDING TO HYDROCHEMICAL AND HYDROLOGICAL OBSERVATIONS

El'vira A. Rumyantseva¹, Nelly N.
Bobrovitskaya¹, Marina V. Shmakova²
¹Federal State Budgetary Institution "State
Hydrological Institute", Russia, St. Petersburg;

²The Institute of Limnology of the Russian Academy
of Sciences is a separate structural unit of the
Federal State Budgetary Institution of Science "St.
Petersburg Federal Research Center of the Russian
Academy of Sciences"

bobrovi@ggi.nw.ru

Аннотация. Для расчётов характеристик качества стока воды рек в ФГБУ «ГТИ» был разработан автоматизированный программный комплекс, позволяющий проводить совместную обработку режимной гидрохимической и гидрологической информации. Задачей настоящей работы является представление возможностей программы в получении характеристик качества стока воды на примере реки Луга по данным 2000–2017 гг. Первой характеристикой качества стока воды является доля объёмов, загрязнённых единичными химическими компонентами ($V_{\text{зар}}\%$). С применением автоматизированного программного комплекса рассчитаны годовые и многолетние значения $V_{\text{зар}}\%$ стока воды реки Луга для каждого загрязняющего вещества и

Abstract. To calculate the characteristics of river water flow quality, the FSBI "SHI" developed an automated software package that allows for joint processing of regime hydro chemical and hydrological information. The objective of this work is to present the capabilities of the program in obtaining characteristics of water flow quality using the example of the Luga River according to data from 2000 to 2017. The first characteristic of the flow quality is the proportion of volumes contaminated with single chemical components (V_{poll}). With the use of an automated software package, the annual and long-term values of V_{poll} of the Luga river runoff for each polluting component were calculated and their probabilistic estimates were given. It is shown that the upper limit of $V_{\text{poll}}\%$ values for water saturation with O_2 is below the norm, for the content

Rumyantseva E.A., Bobrovitskaya N.N., Shmakova M.V. The use of automated technology to calculate the runoff quality characteristics according to hydrochemical and hydrological observations. *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*, 2020, vol. 2, iss. 3, pp. 272-294. (In Russian; abstract in English). DOI: [10.34753/HS.2020.2.3.272](https://doi.org/10.34753/HS.2020.2.3.272)

даны их вероятностные оценки. Показано, что верхний предел значений $V_{\text{зар}}\%$ для насыщения воды O_2 ниже нормы, для содержания Mn^{2+} , Cu^{2+} , $N-NO_2^-$, $Fe_{\text{общ}}$ и ХПК составил 100%; для содержания Pb^{2+} и нефтепродуктов – 64-79%, для содержания O_2 – 39% и для остальных компонентов не превысил 16,5%. Рассчитаны тенденции изменения годовых значений $V_{\text{зар}}\%$ для всех загрязняющих веществ. Второй характеристикой качества стока воды является доля его частичных объёмов, загрязнённых совокупностями химических компонентов, и оценённая по классам и разрядам в соответствии с РД 52.24.643-2002. Показано, что наиболее загрязнённым был сток воды в 2006 и 2010 годах. Он отнесён к 4-му классу, разряд "а" и охарактеризован как грязный. Слабо загрязнённым 2-го класса сток воды реки Луга был только в 2016 и 2017 годах. В остальные годы он являлся загрязнённым 3-го класса, разряд "а" либо разряд "б". Все результаты расчётов представлены в программном комплексе, как в табличной форме, так и в графическом виде.

Ключевые слова: автоматизированный программный комплекс; режимные наблюдения; загрязнённый сток; качество речного стока; динамика качества стока; оценка загрязнённости стока

Введение

Качество стока речной воды в настоящее время определяется независимо от гидрологических показателей. Поэтому актуальной явилась разработка программного комплекса, позволяющего получать оценку качества речного стока путём автоматизированной совместной обработки больших объёмов сетевой (режимной) гидрологической и гидрохимической информации.

of Mn^{2+} , Cu^{2+} , $N-NO_2$, Fe_{tot} and COD was 100%; for the content of Pb^{2+} and oil products – 64-79%, for the content of O_2 – 39% and for other components did not exceed 16.5%. Trends in the change in annual values of V_{poll} for all pollutants were calculated. The second characteristic of runoff quality is the proportion of its partial volumes contaminated with aggregates of chemical components, and assessed by classes and categories in accordance with RD 52.24.643-2002. The most polluted was the water runoff in 2006 and 2010. It is assigned to the 4th grade, category "a" and is characterized as dirty.

Keywords: automated software complex; regime observations; polluted runoff; river runoff quality; runoff quality dynamics; runoff pollution assessment

Первая часть автоматизированного программного комплекса (далее – АПК) полностью соответствует методике¹, разработанной в ФГБУ «ГГИ» ранее [Караушев, Скакальский, 1973; Караушев, Скакальский, 1979; Скакальский, 1980; Методические основы, 1987]. Методика позволяет разделить объём речного стока по единичным компонентам на чистый, когда их содержание в стоке воды не превышает предельно допустимую концентрацию (далее – ПДК), и на загрязнённый, когда она выше ПДК.

¹ Рекомендации по применению интегральных показателей для оценки качества воды и загрязнённости рек и водоёмов. Л.: ГГИ, 1977. 72 с.

Основной характеристикой качества речного стока воды в этой методике является относительный объём стока воды (далее – $V_{\text{зар}}\%$), загрязнённый единичным компонентом. Он выражается отношением объёма стока воды, загрязнённый этим компонентом, через заданный створ за год ко всему годовому стоку реки. Характеристика относительной продолжительности загрязнённого стока воды (далее – $T_{\text{зар}}\%$) выражается отношением времени, в течение которого концентрация вещества в потоке выше ПДК, к общей продолжительности рассматриваемого промежутка времени, например, одному году.

Методика неоднократно использовалась в ФГБУ «ГГИ» для решения разных задач в ручном варианте. С помощью АПК все расчёты автоматизированы [Румянцева, Бобровицкая, 2012].

Вторая часть АПК разработана в отделе мониторинга и экспедиционных исследований ФГБУ «ГГИ» [Румянцева, Бобровицкая, Ильин, 2014] и в настоящее время совершенствуется. В этой части АПК производится разделение годового объёма речного стока на частичные объёмы, различающиеся по количеству и составу компонентов, и оценивается их степень загрязнённости по классам в соответствии с РД 52.24.643-2002².

Характеристики качества стока воды универсальны и могут быть использованы как для изучения региональных особенностей различных рек, так и для управления качеством воды водохозяйственных систем. Возможность применения обеих характеристик для изучения факторов, формирующих качество стока воды как во времени, так и в пространстве показана в работах [Румянцева, Бобровицкая, 2015; Румянцева, Бобровицкая, Сухоногова, 2020; Румянцева, Бобровицкая, 2020].

Задачи и методы

АПК работает под управлением операционной системы Microsoft Windows. Интерфейс программы состоит из трёх основных

структурных элементов: главного меню, управления данными по постам и результатов расчётов. Добавление в базу АПК как гидрохимических, так и гидрологических данных наблюдений осуществляется в формате Microsoft Excel. В одной рабочей области приводятся таблицы с расходами воды выбранного гидрометрического створа за весь представленный в архиве период наблюдений, в другой – таблицы с гидрохимическими данными выбранного гидрохимического створа также за весь период наблюдений.

Программа состоит из двух основных форм. Первая форма – стартовая. На ней расположена краткая информация о программном продукте, возможность ознакомления с методикой и инструкцией по работе с программой, а также кнопка вызова основной расчётной формы. Вторая форма – расчётная область. Представляет собой набор элементов графического и табличного интерфейса для отображения и сохранения на соответствующих ресурсах.

Использование АПК значительно упрощает обработку и анализ данных наблюдений за качеством стока воды и позволяет оперативно получать как характеристики исходных данных наблюдений, так и расчётные характеристики.

Для получения расчётных характеристик качества стока воды производится линейная интерполяция измеренных значений компонентов с использованием посуточного шага гидрографа. Дальнейшие расчёты осуществляются не только по измеренным, но и по их суточным интерполированным значениям. Это позволяет сгладить основные особенности исходных рядов гидрохимической информации: её неоднородность, зависимость концентрации от водности реки [Смыжова, 2010; Шелутко, Колесникова, Смыжова, 2010].

Задачей данной работы является представление возможностей АПК в получении характеристик качества речного стока на примере реки Луга. Все таблицы и рисунки, приведённые в статье, получены с применением АПК.

² РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязнённости поверхностных вод по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 48 с.

Характеристика исходных данных

Для расчётов качества стока воды реки Луга использовались данные гидрохимических и гидрологических наблюдений Северо-Западного УГМС за 2000–2017 гг. Пост гидрохимических наблюдений находится на 1 км выше п.г.т. Толмачёво. Гидрологический пост (код 72 569) расположен у ст. Толмачёво. Далее для удобства изложения названия постов не будут упоминаться.

Рабочая область «Характеристика исходных гидрохимических данных»

В рабочей области АПК «Характеристика исходных гидрохимических данных» приводятся две таблицы – «Количество проб по годам» и «Пределы варьирования компонентов».

В таблице 1 представлены пределы варьирования измеренных концентраций химических веществ в воде реки Луга за период наблюдений с 2000 по 2017 год. Полу жирным шрифтом отмечены значения, превышающие ПДК для рыбохозяйственного применения³.

Превысили норму содержания органических веществ, установленные по косвенным показателям ХПК и БПК₅, биогенные азотсодержащие соединения (N-NO₂⁻, N-NH₄⁺), Fe_{общ}, Cu²⁺, Mn²⁺ и Pb²⁺, а также СПАВ и нефтепродукты. Выше верхнего предела нормы отмечено значение рН и ниже нормы содержание и насыщение воды кислородом.

В таблице 2 показано ежегодное количество проб воды, отобранных в реке Луга на

гидрохимические анализы. Оно весьма неоднородно и включает 7 компонентов: кислород, нефтепродукты, медь, марганец и кадмий, – которые определяли регулярно 12 раз в год, свинец и СПАВ – 11-12 раз в год. Также 12 раз в год определяли органические вещества по ХПК и БПК₅ и рН. Биогенные азотсодержащие соединения, фосфаты, общее железо, главные ионы в пробах воды анализировали реже – 4 раза в год. Пробы на содержание в воде пестицидов (ПП_ДДТ, ПП_ДДЭ, Альфа ГХЦГ, Гамма ГХЦГ) отбирали от 3 до 9 раз в год и только с 2001 года, а на содержание фенолов – от 1 до 7 раз в год и только в 2013, 2014, 2015, 2017 годах.

Следует отметить, что компоненты, которые определялись менее 4 раз в год, АПК не учитывает в расчётах.

Характеристика загрязнённости стока воды реки Луга по единичным химическим компонентам фактически может быть сделана для всех, перечисленных выше, кроме иона HCO₃⁻, содержание которого не нормируется.

В РД 52.24.643-2002⁴ для оценки качества воды по комплексу загрязняющих веществ рекомендован основной перечень, включающий 15 компонентов. Для основного перечня загрязняющих веществ в данном случае не хватает трех – никеля, цинка и недостаточно определений фенолов. Поэтому согласно РД его можно отнести к свободному перечню, используемому для конкретных задач.

³ Перечень рыбохозяйственных нормативов предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: Издательство ВНИРО, 1999. 304 с.

⁴ РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязнённости поверхностных вод по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 48 с.

Таблица 1. Пределы варьирования измеренных в воде реки Луга значений химических компонентов за период 2000–2017 гг.

Table 1. Limits of variation of the values of hydro chemical components measured in the water of the Luga River for the period 2000–2017

Показатели	Размерность	ПДК рыбохозяйственного назначения	Пределы варьирования значений	
			Минимум	Максимум
Водородный показатель (рН)		6,5 – 8,5	6,73	8,89
Растворённый кислород, O ₂	мг/дм ³	6 летом; 4 зимой	2,6	13,5
Насыщение воды O ₂	%	>70	28	99
Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мгO ₂ /дм ³	2	0	3,6
Химическое потребление кислорода (ХПК)	мгO/дм ³	15	0	98
Аммоний солевой (N-NH ₄ ⁺)	мгN/дм ³	0,39	0	0,46
Нитриты (N-NO ₂ ⁻)	мгN/дм ³	0,02	0	0,22
Нитраты (N-NO ₃ ⁻)	мгN/дм ³	9	0,04	1,79
Фосфаты	мгP/дм ³	0,2	0	0,04
Fe _{общ}	мг/дм ³	0,1	0,01	1,1
Cu ²⁺	мг/дм ³	0,001	0	0,029
Mn ²⁺	мг/дм ³	0,01	0	0,301
Cd ²⁺	мг/дм ³	0,005	0	0,0025
Нефтепродукты	мг/дм ³	0,05	0	0,11
Фенолы	мг/дм ³	0,001	0	0
Синтетические поверхностно- активные вещества (СПАВ)	мг/дм ³	0,1	0	0,3
Ca ²⁺	мг/дм ³	180	17,8	84,2
Mg ²⁺	мг/дм ³	40	4,5	28,4
SO ₄ ²⁻	мг/дм ³	100	0	63,5
Cl ⁻	мг/дм ³	300	1,1	25,7
K ⁺	мг/дм ³	50	1	5,4
Na ⁺	мг/дм ³	120	1,3	13,4
HCO ₃ ⁻	мг/ дм ³		67	270
Температура	Град, С		0	25
Pb ²⁺	мг/ дм ³	0,006	0	0,017
Пестициды				
ПП_ДДЭ	мкг/дм ³	0,01	0	0
ПП_ДДТ	мкг/дм ³	0,01	0	0
Альфа ГХЦГ	мкг/дм ³	0,01	0	0,006
Гамма ГХЦГ	мкг/дм ³	0,01	0	0,005

Таблица 2. Количество проб воды, отобранных в воде реки Луга на химические анализы за период 2000-2017 годов
 Table 2. Annual number of water samples taken in the water of the Luga River for hydro chemical analyzes for the period 2000-2017

Показатели	Количество определений в год																				
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2002	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
pH	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11
O ₂	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11
O ₂ %	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11
БПК ₅	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11
XПК	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11
N-NH ₄ ⁺	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
N-NO ₂ ⁻	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
N-NO ₃ ⁻	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Фосфаты	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Fe _{общ}	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Cu ²⁺	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11
Mn ²⁺	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11
Cd ²⁺	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11
Нефтепродукты	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11
Фенолы	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	4	4	1	0	0	7
СПАВ	11	12	11	12	12	12	12	12	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11
ПП ДДЭ	0	7	4	4	6	9	6	5	4	5	5	6	6	4	4	4	4	3	4	4	4
ПП ДДТ	0	7	4	4	6	9	6	5	4	5	5	6	6	4	4	4	4	3	4	4	4
АльфаГХЦГ	0	7	4	4	6	9	6	5	4	5	5	6	6	4	4	4	4	3	4	4	4
ГаммаГХЦГ	0	7	4	4	6	9	6	5	4	5	5	6	6	4	4	4	4	3	4	4	4
Ca ²⁺	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Mg ²⁺	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
SO ₄ ²⁻	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Cl ⁻	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
K ⁺	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Na ⁺	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
HCO ₃ ⁻	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Температура	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11
pB ²⁺	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11

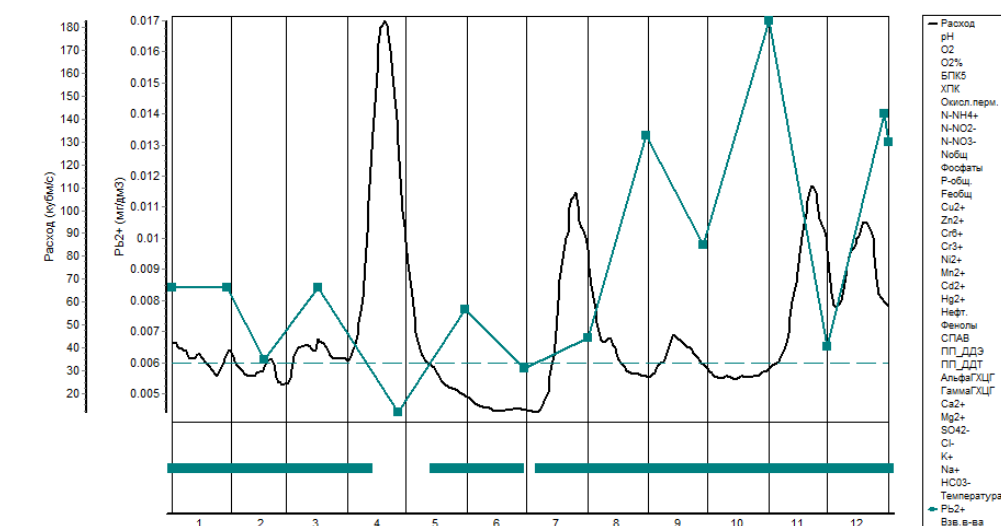


Рисунок 1. Диаграмма годового хода концентраций свинца в воде реки Луга, совмещённого с гидрографом в 2000 году

Figure 1. Diagram of the annual course of lead concentrations in the water of the Luga River, combined with a hydrograph in 2000

Рабочая область «Диаграмма»

Эта рабочая область АПК представляет собой набор ранжированных по годам графиков изменения концентраций загрязняющих веществ по эмпирическим данным, загруженным из архива. Кроме того, при наличии данных о суточных расходах воды отображается гидрограф стока.

Используя АПК, для каждого компонента и для каждого года возможно получить изображения диаграмм годового хода концентраций, совмещённого с гидрографом. Для примера на рисунке 1 представлена диаграмма годового хода концентраций свинца в воде реки Луга в 2000 году.

На графике присутствует линия, обозначенная пунктиром и соответствующая ПДК для данного компонента, снизу графика яркими прямоугольниками показаны продолжительности периодов превышения ПДК. Диаграммы являются основополагающими для расчётов объёмов стока воды, загрязнённой данным компонентом.

Рабочая область «Периоды продолжительностей загрязнённого стока»

Эта рабочая область АПК представляет собой набор графиков, в которых изображены

периоды продолжительностей загрязнённого стока воды за все годы наблюдений в виде ярких прямоугольников произвольной окраски для каждого загрязняющего компонента. Бесцветные полосы свидетельствуют об отсутствии данных, бежевые – об отсутствии загрязнённого стока воды для данного компонента.

На рисунке 2 показаны графики с наиболее различающимися периодами продолжительностей стока воды реки Луга, загрязнённой разными химическими компонентами.

Единичны и незначительны продолжительности периодов стока воды, загрязнённой СПАВ (рисунок 2А), аналогичны ему периоды продолжительностей стока воды для значений pH выше ПДК. Количество таких периодов для БПК₅ несколько больше (рисунок 2Б). Так же выглядят, не приведённые в данном тексте, графики для нефтепродуктов, растворённого кислорода и свинца. Наиболее часты и более продолжительны периоды стока воды, загрязнённой нитритным азотом (рисунок 2В) и для насыщения воды кислородом. Максимальны продолжительности загрязнённого стока воды для меди (рисунок 2Г), а также для марганца, железа и ХПК.

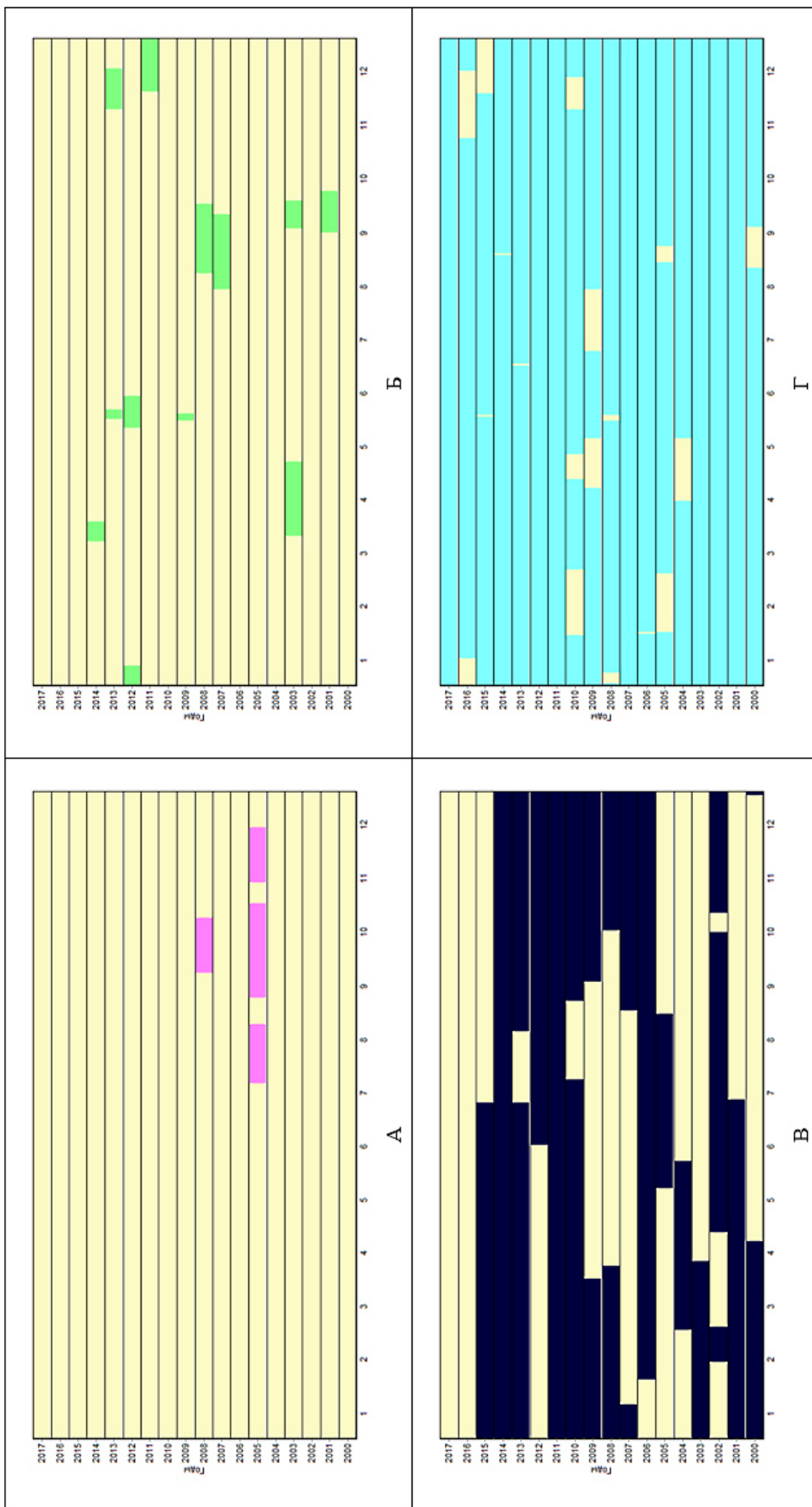


Рисунок 2. Периоды продолжительностей стока, загрязнённого СПАВ (А), органическими веществами по БПК₅ (Б), нитритным азотом (В) и медью (Г) за все годы наблюдений с 2000 по 2017 годы

Figure 2. Periods of runoff durations contaminated with synthetic surfactants (A), organic substances according to BOD₅ (B), nitrite nitrogen (C) and copper (D) for all observation years from 2000 to 2017

Оценка качества стока воды реки Луга по единичным показателям

Рабочая область «Таблицы результатов»

Результаты расчётов продолжительностей и объёмов загрязнённого стока воды рек приводятся в виде двух объёмных таблиц и, как правило, помещаются в приложениях.

В первой таблице для каждого года изучаемого периода приводятся значения годового стока воды. Для каждого компонента и каждого года рассчитываются абсолютные значения продолжительностей и объёмов чистого и загрязнённого стока воды в сутках и м³/год и относительные – в процентах. Указаны также периоды загрязнённого и чистого стока воды для каждого года и приведены их конкретные даты.

Во второй таблице представлена та же информация по относительным объёмам загрязнённого стока воды и его продолжительностям для каждого компонента в хронологическом порядке. Кроме того, для каждого года и для каждого компонента рассчитаны величины массового стока воды в тоннах и массового стока компонентов со сверхнормативными концентрациями.

В третьей таблице под названием «Обобщённые характеристики загрязнённого стока» приведены значения минимальных, максимальных и средних относительных объёмов, а также продолжительностей загрязнённого стока воды реки, усреднённые за весь период наблюдений. Для реки Луга данная информация представлена в таблице 3 за период 2000–2017 гг.

Очевидно, что для таких компонентов как Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻, Cl⁻, K⁺, Na⁺, Cd²⁺ и фосфаты (18 лет наблюдений), N-NO₃⁻, Гамма ГХЦГ, Альфа ГХЦГ, ПП_ДДТ и ПП_ДДЭ (16 лет наблюдений) и фенолов (4 года наблюдений) загрязнённый сток отсутствует.

Для Fe_{общ}, Mn²⁺, Cu²⁺, ХПК и O₂% загрязнённый сток присутствует ежегодно в течение всего периода наблюдений. Средние

значения стока воды, загрязнённой каждым из этих компонентов, были максимальными и превысили в разных случаях 70, 80 и даже 90%.

В течение 18 лет наблюдений сток воды, загрязнённой нитритами, имел место только 16 лет, сток воды с содержанием кислорода ниже нормы прослеживался 15 лет, загрязнение стока воды свинцом наблюдалось только 13 лет. Объём стока воды, загрязнённой лабильными органическими веществами по БПК₅, в течение всего периода наблюдений был отмечен только 9 лет, нефтепродуктами – 5 лет, СПАВ – только 2 года. Всего 1 год из 18 лет наблюдений зафиксирован сток воды, загрязнённой N-NH₄.

Верхний предел значений V_{заг}% для O₂%, Mn²⁺, Cu²⁺, N-NO₂⁻, Fe_{общ} и ХПК составил 100%; для Pb²⁺ и нефтепродуктов 60-80%, для содержания O₂ – около 40%, для БПК₅ и N-NH₄⁺ – чуть более 14%, для СПАВ – 8%.

Таблица «обеспеченности» качества стока

С помощью АПК для каждого года и соответствующего компонента, имеющего сверхнормативные значения, рассчитываются вероятностные оценки величин основных характеристик загрязнённого стока воды.

В таблице 4 приведены вероятностные оценки относительных величин объёмов и продолжительностей стока воды, загрязнённой нитритным азотом.

В соответствии с правилами, принятыми в гидрологии при оценке распределения среднесуточных расходов воды в течение года, за основу внутригодовой продолжительности взяты 30-й, 90-й, 180-й, 270-й и 365-й день, что соответствует 8,2; 24,7; 49,3; 74,0; 97,3% вероятностей, и соответствующим вероятностным значениям концентрации нитритного азота в воде.

В вероятностной кривой распределения концентраций отмечены значения основных критериев уровня загрязнения: ПДК, высокого загрязнения (далее – ВЗ) и экстремально высокого загрязнения (далее – ЭВЗ) – и рассчитаны соответствующие им вероятности.

Таблица 3. Средние значения относительных продолжительностей и объёмов стока воды реки Луга для единичных компонентов и пределы их значений за 2000–2017 гг.

Table 3. Averaged over 2000–2017 values of the relative durations and volumes of water flow in the Luga River with an excess of the standard content of single components and the limits of their values

Показатели	T _{заг} %			V _{заг} %			Количество лет наблюдений	
	Среднее	Мин.	Макс.	Среднее	Мин.	Макс.	С загрязнённым стоком	Всего
pH	0,5	0	6,0	0,8	0	10,8	2	18
O ₂	13,3	0	41,1	10,5	0	39,3	15	18
O ₂ %	65,6	12,6	100	71,3	9,2	100	18	18
БПК ₅	4	0	15,9	3,6	0	16,5	9	18
ХПК	95	57,5	100	97,2	67,1	100	18	18
N-NH ₄ ⁺	0,4	0	6,8	0,8	0	14,5	1	18
N-NO ₂ ⁻	52,9	0	100	54,4	0	100	16	18
N-NO ₃ ⁻	0	0	0	0	0	0	0	16
Фосфаты	0	0	0	0	0	0	0	18
Fe _{общ}	95,7	55,3	100	98,6	86,4	100	18	18
Cu ²⁺	95,1	81,1	100	94,6	77,9	100	18	18
Mn ²⁺	84,9	5,8	100	84,3	1,8	100	18	18
Cd ²⁺	0	0	0	0	0	0	0	18
Нефтепродукты	5,4	0	36,7	6,2	0	64,3	5	18
Фенолы	0	0	0	0	0	0	0	4
СПАВ	2,2	0	32,1	0,6	0	8,1	2	18
ПП_ДДЭ	0	0	0	0	0	0	0	16
ПП_ДДТ	0	0	0	0	0	0	0	16
АльфаГХЦГ	0	0	0	0	0	0	0	16
ГаммаГХЦГ	0	0	0	0	0	0	0	16
Ca ²⁺	0	0	0	0	0	0	0	18
Mg ²⁺	0	0	0	0	0	0	0	18
SO ₄ ²⁻	0	0	0	0	0	0	0	18
Cl ⁻	0	0	0	0	0	0	0	18
K ⁺	0	0	0	0	0	0	0	18
Na ⁺	0	0	0	0	0	0	0	18
Pb ²⁺	23,4	0	88,5	18,1	0	79,2	13	18

Таблица 4. Вероятностные оценки относительных величин объемов и продолжительностей стока воды со значениями нитритного азота выше нормы в 2000 году

Table 4. Probabilistic estimates of the relative values of volumes and durations of water runoff with nitrite nitrogen values above the norm in 2000

Продолжительность, сутки	Вероятность, %	Концентрация, мг/дм ³	Критерии	V _{заг} , м ³ /год	V _{заг} %
30	8,2	>0,08		9,21E+7	6,16
80	21,9	>0,0508	ВЗ	2,37E+8	15,85
90	24,7	>0,0417		2,67E+8	17,89
115	31,5	>0,0203	ПДК	4,97E+8	33,26
180	49,3	>0,012			
270	74,0	>0,0034			
355	97,3	>0			
		0	Минимум		
		0,08	Максимум		

Например, в 2000 году с вероятностью 21,9% объём стока воды $2,37 \cdot 10^8$ м³/год, то есть 15,85% годового стока, имел содержание нитритного азота на уровне и выше ВЗ, но концентрации не достигли значений ЭВЗ.

С вероятностью 31,5% объём стока воды $4,97 \cdot 10^8$ м³/год, то есть 33,26% годового стока, имел концентрацию нитритного азота на уровне и выше ПДК. Так можно охарактеризовать загрязнённый сток по любому году и по любому компоненту, имеющему превышения ПДК.

Следует отметить, что значения концентраций выше ВЗ встречаются в исследуемый период только в воде реки Луга, загрязнённой нитритами и марганцем. В обоих случаях значения ЭВЗ не достигаются.

Рабочая область «Тенденции»

Эта рабочая область АПК представляет собой набор графиков, описывающих тенденции изменения годовых значений относительной продолжительности и относительного объёма загрязнённого стока воды за исследуемый период.

Для примера на рисунке 3 представлены графики разнонаправленных тенденций многолетнего хода только относительных объёмов стока воды (V_{заг}%), загрязнённых разными химическими компонентами, так как графики многолетнего хода их продолжительностей почти идентичны.

За весь период наблюдений можно отметить тенденцию увеличения V_{заг}% стока воды с насыщением кислородом ниже нормы (рисунок 3А). Аналогична ему тенденция увеличения объёмов стока воды с содержанием в воде кислорода ниже нормы. Относительный объём стока воды, загрязнённой нитритами, в период 2000–2014 гг. имеет тенденцию к увеличению, а с 2014 по 2017 год – к уменьшению.

В 2000–2017 гг. характерно уменьшение V_{заг}% стока воды, загрязнённой свинцом (рисунок 3Б). Так же выглядит, не приведённый в данной статье, график тенденции уменьшения V_{заг}% для нефтепродуктов, а с 2014 года – для марганца.

Относительные объёмы стока воды, загрязнённой железом, медью и органическими веществами по ХПК за весь период 2000–2017 гг., постоянно высокие с незначительными снижениями в отдельные годы. На рисунке 3В показана многолетняя динамика V_{заг}% стока воды, загрязнённой медью.

V_{заг}% для NH₄⁺, СПАВ, органических веществ по БПК₅ и со значениями рН выше нормы, как правило, отсутствует, но имеют место его небольшие всплески в отдельные годы, аналогично тому, как показано на рисунке 3Г для стока воды, загрязнённой СПАВ.

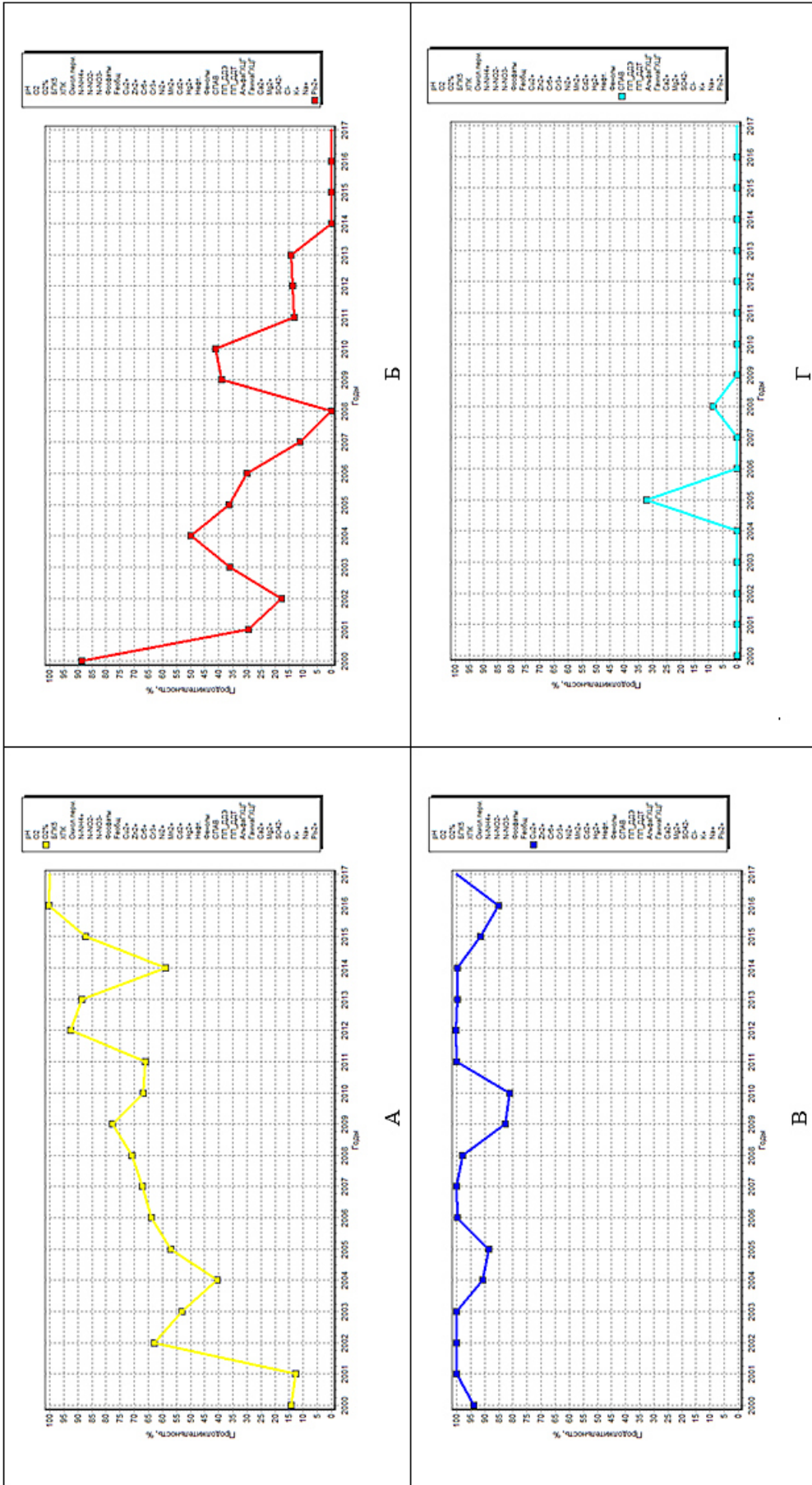


Рисунок 3. Тенденция изменений относительных объёмов стока воды реки Луга с насыщением воды кислородом ниже нормы (А), загрязнённых свинцом (Б), медью (В) и СПАВ (Г) в 2000–2017 годах

Figure 3. Tendency of changes in the relative volumes of water flow in the Luga River with oxygen saturation below normal (A), contaminated with lead (B), copper (C) and synthetic surfactants (D) in 2000–2017

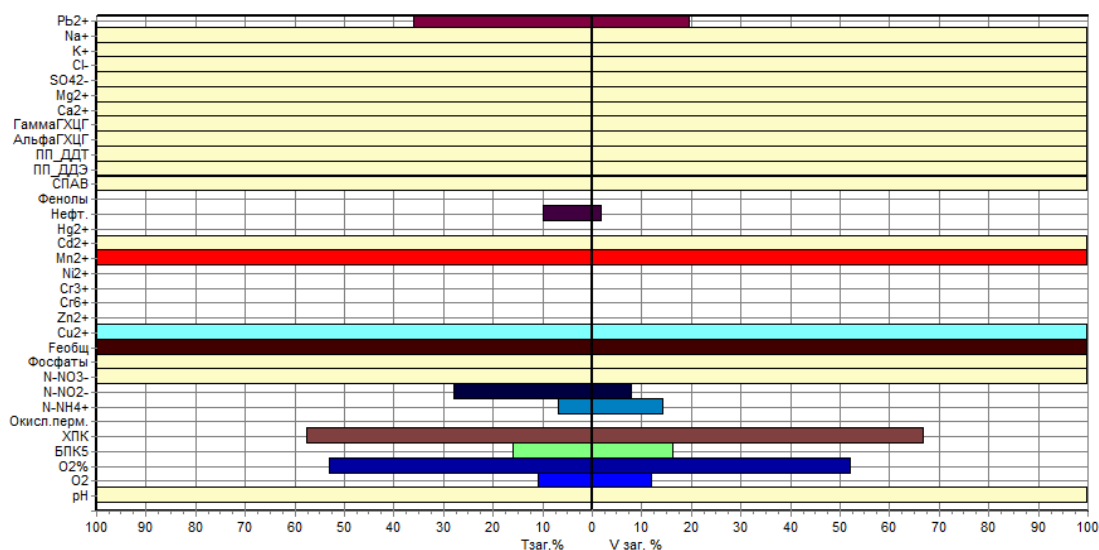


Рисунок 4. Относительные объёмы ($V_{\text{zag}}\%$) и продолжительности ($T_{\text{zag}}\%$) стока воды реки Луга для единичных компонентов в 2003 году

Figure 4. Relative volumes ($V_{\text{poll}}\%$) and duration ($T_{\text{poll}}\%$) of the water flow of the Luga River for single components in 2003

Рабочая область «Гистограммы»

Эта рабочая область АПК представляет собой набор графиков, в которых периоды продолжительностей и объёмов стока реки со сверхнормативным содержанием загрязнённого стока воды для всех единичных компонентов конкретного года изображены в виде ярких прямоугольников произвольной окраски. Бесцветные полосы говорят об отсутствии данных, бежевые – об отсутствии загрязнённого стока воды для данного компонента.

Гистограммы являются интегральной оценкой качества стока воды по единичным компонентам для каждого года.

На рисунке 4 представлена гистограмма качества стока воды реки Луга за 2003 год.

Внутригодовые особенности загрязнённости стока воды хорошо видны из составленной таблицы 5, в которой обобщён для каждого года состав единичных компонентов, загрязняющих сток на основании всех гистограмм за исследуемый период 2000–2017 гг. Очевидно,

что среди компонентов, загрязняющих сток воды реки Луга, ежегодно присутствуют органические вещества по ХПК, общее железо, медь и марганец, также ежегодно вода не насыщена кислородом до нормы.

Загрязнение стока воды нитритами отсутствует только в 2016 и 2017 годах, а содержание ниже нормы кислорода – только в 2000, 2001 и 2015 годах.

Особенностью 2000–2007, 2009–2013 гг. является наличие объёмов стока воды, загрязнённой свинцом. Кроме того, сток воды реки Луга загрязняют следующие химические компоненты: нефтепродукты в 2001–2003, 2006, 2010 годах, лабильные органические вещества по БПК₅ в 2001, 2002, 2007–2009, 2011–2014 годах, СПАВ в 2005, 2008 годах и аммонийный азот в 2003 году.

Общее количество загрязняющих сток веществ минимально в 2015–2017 годах и равно шести. Максимального количества оно достигает в 2003 году – одиннадцать компонентов.

Таблица 5. Внутригодовые особенности качества стока воды реки Луга по составу компонентов, значения которых выше, а для кислорода ниже ПДК
 Table 5. Intra-annual features of water flow pollution in the Luga River by the composition of single polluting components

Показатели	Годы																			
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017		
рН												*	*							
Растворённый кислород			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Кислород насыщения	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Нитригный азот	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Аммонийный азот				*																
ХПК	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Нефтепродукты	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
СПАВ						*			*											
БПК ₅		*		*				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Общее железо	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Медь	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Марганец	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Свинец	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

* – Наличие значений компонента с превышением (для растворенного кислорода – ниже) ПДК

* – The presence of component values with an excess (for dissolved oxygen - with a low) MPC

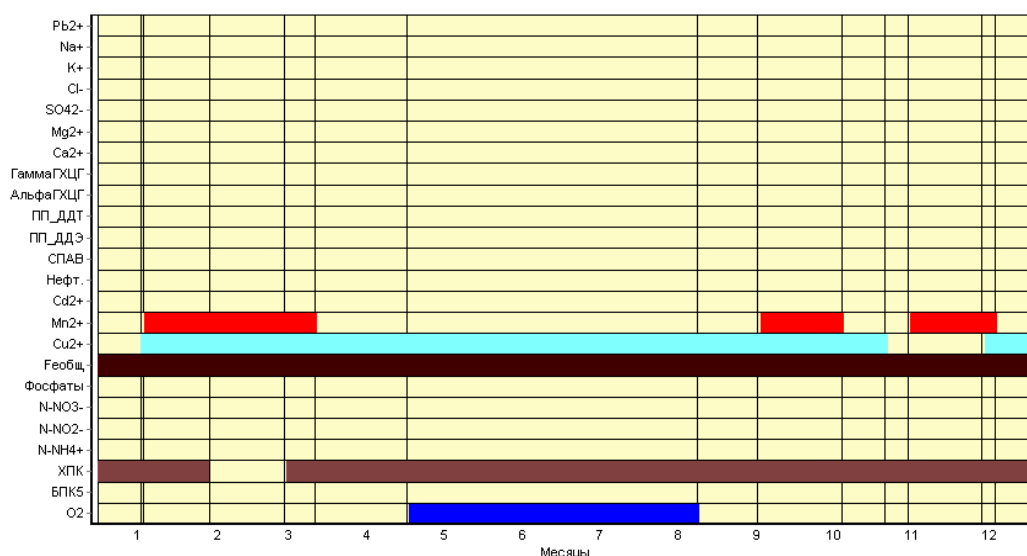


Рисунок 5. Частичные продолжительности стока воды реки Луга, различающиеся по составу компонентов, значения которых не соответствуют норме в 2016 году

Figure 5. Partial runoff durations of the Luga River, differing in the composition of the components, the values of which do not correspond to the norm in 2016

Оценка качества стока воды реки Луга по комплексу химических показателей

Рабочая область «Частичные продолжительности стока»

Оценка качества стока воды по комплексу химических компонентов производится путём разделения годового объёма речного стока воды на частичные объёмы, различающиеся по составу компонентов, и оценивается их степень загрязнённости по классам в соответствии с РД 52.24.643-2002.

Для выделения частичных объёмов годового стока воды, различающихся по составу загрязняющих компонентов, были совмещены периоды продолжительностей их стока на одном хронологическом графике (рисунок 5).

С помощью вертикальных линий выделяют продолжительности частичных объёмов годового стока воды, содержащей разное количество компонентов в разных сочетаниях, которые проецируются на оси абсцисс.

Расчётная область «Таблицы результатов»

Область «Таблицы результатов» представлена двумя вариантами таблиц –

«Оценка загрязнённости частичных объёмов стока» и «Паспорта качества речного стока».

В таблице «Оценка загрязнённости частичных объёмов стока» для каждого частичного объёма, отличающегося по составу загрязняющих веществ, в соответствии с РД 52.24.643-2002 рассчитаны все показатели их степени загрязнённости, включая определение классов и разрядов. Определены объёмы и продолжительности их стока в абсолютных и относительных величинах и их календарные даты. Эта таблица является рабочей основой для расчётов второй таблицы, названной «Паспорта качества речного стока». Таблица включает объединённые по классам и разрядам величины частичных расходов воды и продолжительностей их стока, рассчитанные в первой таблице и реализуемые в разные календарные даты года, их абсолютные и относительные величины. Кроме того, в нём дана характеристика состояния загрязнённости для объединённых частичных объёмов каждого класса и разряда для года в целом и для всего периода.

В таблице 6 приведены образцы «Паспорта качества речного стока» реки Луга за 2017 год как пример слабо загрязнённого стока; за 2010 год как пример грязного стока, а также среднего за период 2000–2017 гг. стока, который охарактеризован как очень загрязнённый.

Таблица 6. Характеристики качества стока реки Луга по комплексу загрязняющих веществ за 2010, 2017 годы и за весь период с 2000 по 2017 годы
Table 6. Characteristics of the flow quality of the Luga River by the complex of pollutants for 2010, 2017 and for the period 2000-2017

Год	V стока, м ³ /год	№	Интервалы	T _{аб.} , сутки	T _{заб.} %	V _{заб.} м ³	V _{заб.} (%)	УКИЗВ ⁵	Класс и разряд	Характеристика стока воды	Критические показатели с обобщённым оценочным баллом S _{≥9}
2010	1,47E+09	1	21.08-04.10 06.10-09.10 23.11-10.12	67	18,36	1,06E+08	7,17	1,83	3-й класс, разряд "а"	Загрязненный	Fe _{общ.} , Cu ²⁺ , Mn ²⁺ , ХПК, N-NO _x
		2	31.01-08.03 29.04-14.05 24.07-20.08 05.10-05.10 10.10-22.11	126	34,52	2,98E+08	20,22	2,06	3-й класс, разряд "б"	Очень загрязненный	ХПК, N-NO _x , Fe _{общ.} , Mn ²⁺ , Cu ²⁺
		3	01.01-30.01 09.03-28.04 15.05-08.06 07.07-23.07 11.12-31.12	144	39,45	1,02E+09	68,95	2,44	4-й класс, разряд "а"	Грязный	ХПК, N-NO _x , Fe _{общ.} , Cu ²⁺ , Mn ²⁺
		4	09.06-06.07	28	7,67	5,39E+07	3,66	3,07	4-й класс, разряд "б"	Грязный	ХПК, N-NO _x , Fe _{общ.} , Cu ²⁺ , Mn ²⁺
		5	Оценка за год	365	100	1,47E+09	100	2,34	4-й класс, разряд "а"	Грязный	ХПК, N-NO _x , Fe _{общ.} , Cu ²⁺ , Mn ²⁺
2017	1,78E+09	1	27.02-03.03	5	1,37	6,40E+06	0,36	0,78	1-й класс	Условно чистый	Fe _{общ.} , Cu ²⁺
		2	01.01-26.02 04.03-31.12	360	98,63	1,77E+09	99,64	1,1	2-й класс	Слабо загрязненный	ХПК, Fe _{общ.} , Cu ²⁺
		3	Оценка за год	365	100	1,78E+09	100	1,2	2-й класс	Слабо загрязненный	ХПК, Fe _{общ.} , Cu ²⁺
2000-2017	2,23E+10	1	За весь период	196	2,98	1,19E+08	0,4	0,66	1-й класс	Условно чистый	-----
		2		816	12,41	3,06E+09	13,72	1,21	2-й класс	Слабо загрязненный	
		3		1889	28,73	6,26E+09	28,1	1,76	3-й класс, разряд "а"	Загрязненный	
		4		2248	34,19	7,13E+09	32,0	2,08	3-й класс, разряд "б"	Очень загрязненный	
		5		1398	21,26	5,65E+09	25,39	2,33	4-й класс, разряд "а"	Грязный	
		6		28	0,43	5,39E+07	0,24	3,07	4-й класс, разряд "б"	Грязный	
		6575	100	2,23E+10	100	1,92	3-й класс, разряд "б"	Очень загрязненный			

⁵УКИЗВ – удельный комбинаторный индекс загрязнённости воды

⁵ РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязнённости поверхностных вод по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеонадат, 2002. 48 с.

Расчёты показали, что загрязнённым в исследуемом ряду был сток воды реки Луга в 2003, 2005, 2015 годах, когда его качество было отнесено к 3-му классу, разряд "а". Менее загрязнённым был сток воды в 2016 и 2017 годах, он охарактеризован как слабо загрязнённый 2-го класса. Наиболее загрязнённым в этом ряду был сток воды в 2006 и 2010 годах. Он отнесён к 4-му классу, разряд "а" и охарактеризован как грязный. Следует отметить, что только в 2010 году в стоке была небольшая доля воды, отнесённая к 4-му классу, разряд "б".

В остальные годы сток воды характеризуется как очень загрязнённый 3-го класса, разряд "б".

Рабочая область «Хронологический график степени загрязнённости»

В этой рабочей области АПК представлены хронологические графики для каждого года, на которых изображены гидрограф, линия удельного комбинаторного индекса загрязнённости воды и выделены области гидрографа, имеющие разные классы загрязнённости.

Для примера представлены только два рисунка: (6А) для 2017 года, когда сток оценивался как слабо загрязнённый, и (6Б) для 2010 года, когда сток был грязным.

Анализ всех графиков 2000–2017 гг. показал, что доля загрязнённого стока 4-го класса, разряд "а" реализуется в периоды осень-зима в 2007, 2008, 2009 и 2012 годах, зима-весна в 2001 и 2013 годах, а в 2002, 2004, 2006, 2010, 2011 и 2014 годах ещё и в летнее время. Наиболее загрязнённая доля стока 4-го класса, разряд "б" в 2010 году также реализуется летом.

Рабочая область «Структура загрязнённости стока»

В этой рабочей области АПК для наглядности представлено для каждого года и для всего периода распределение частичных объёмов стока воды разных классов загрязнённости по отношению к общему объёму стока в виде круговой диаграммы.

На рисунке 7 показана круговая диаграмма частичных объёмов стока воды реки Луга в

2010 году (А), когда сток был грязным, и в 2016 году (Б), когда сток оценивался как слабо загрязнённый. Круговая диаграмма частичных объёмов стока, усреднённого для всего периода 2000–2017 гг., представлена на рисунке 8.

За весь исследуемый период водный сток реки Луга состоял из 0,54% условно чистого стока 1 класса, 13,72% слабо загрязнённого – 2 класса, 28,1% – загрязнённого стока 3 класса, разряд "а", 32% – очень загрязнённого стока 3 класса, разряд "б", 25,39% – грязного стока 4-го класса, разряд "а" и 0,24% – 4-го класса, разряд "б". Средний для периода 2000–2017 гг. сток реки Луга оценён, как очень загрязнённый отнесён к 3-му классу, разряд "б".

Выводы

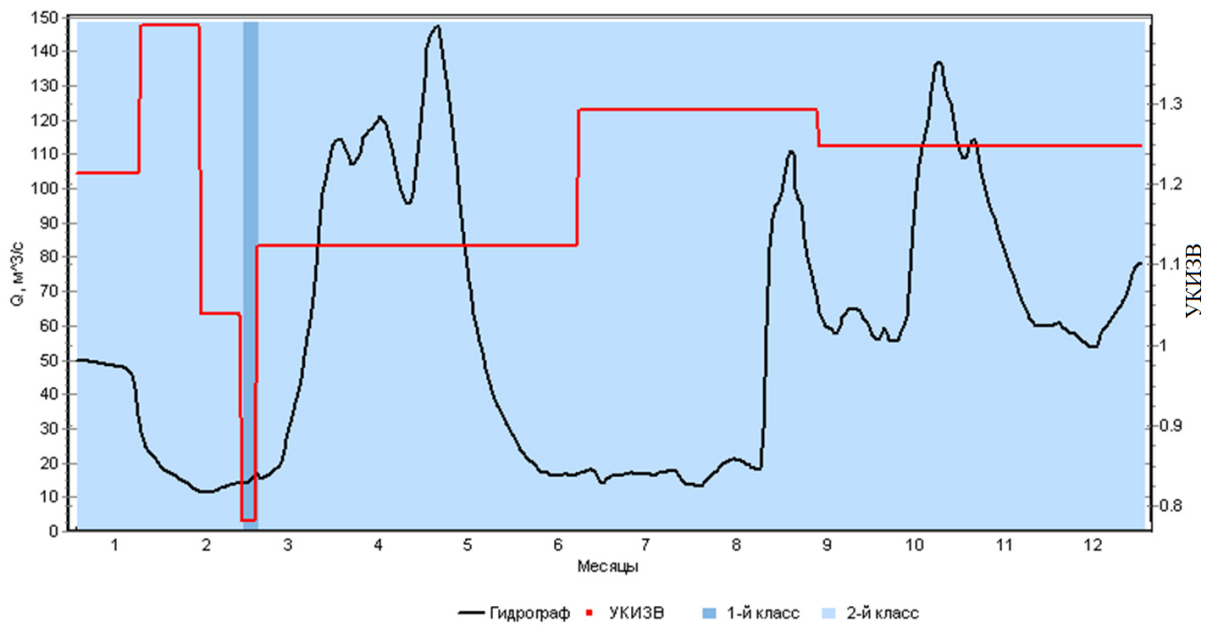
На примере реки Луга показаны возможности использования АПК «Оценки показателей загрязнённого и чистого стока воды» в получении следующих характеристик исходных данных и качества речного стока.

1. Характеристики исходных данных:

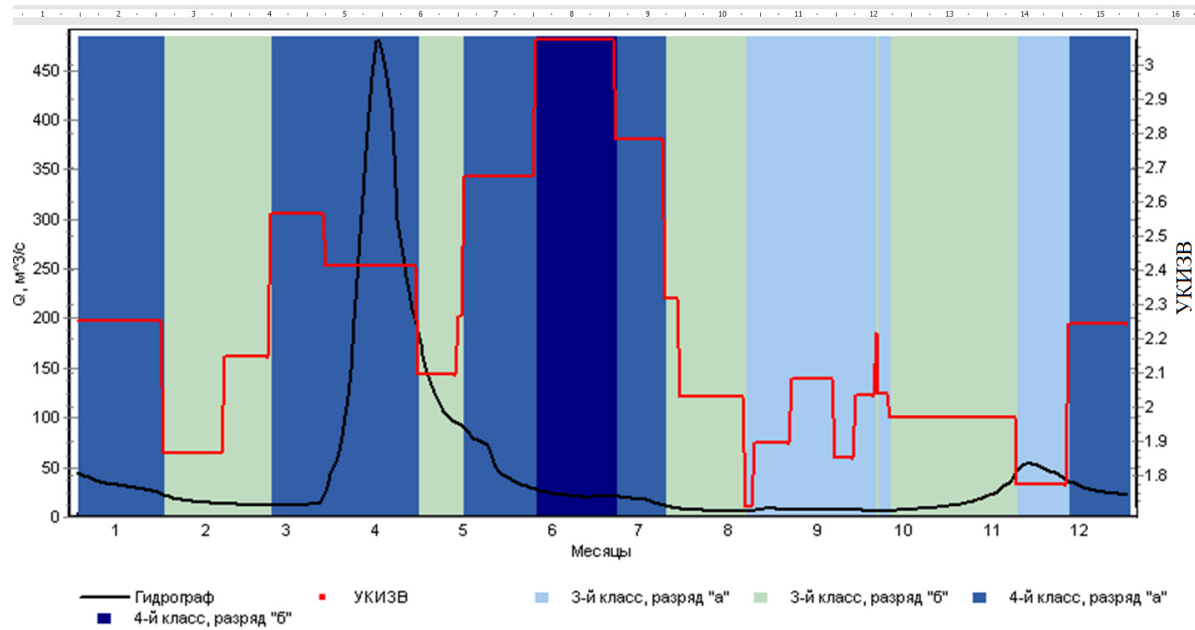
1.1 С помощью АПК введены в программу таблицы исходных гидрологических и гидрохимических данных реки Луга у п.г.т. Толмачёво за период 2000–2017 гг. Получены таблицы пределов варьирования измеренных значений гидрохимических показателей и ежегодного количества отобранных на гидрохимические анализы проб воды.

1.2. Построены изображения диаграмм годового хода концентраций, совмещённого с гидрографом, для всех компонентов и показаны продолжительности периодов их превышения ПДК.

1.3. Графически показаны календарные периоды продолжительностей стока воды, загрязнённой единичным компонентом одновременно за все годы наблюдений. Ежегодны и максимальны продолжительности стока воды, загрязнённой медью, марганцем, железом и ХПК, а также стока воды с насыщением воды кислородом ниже нормы.



А



Б

Рисунок 6. Частичные объёмы стока воды реки Луга разных классов загрязнённости, реализуемые в разные календарные даты в 2010 (А) и в 2017 (Б) годах

Figure 6. Partial volumes of water flow in the Luga river of different pollution classes, realized on different calendar dates in 2010 (A) and 2017 (B)

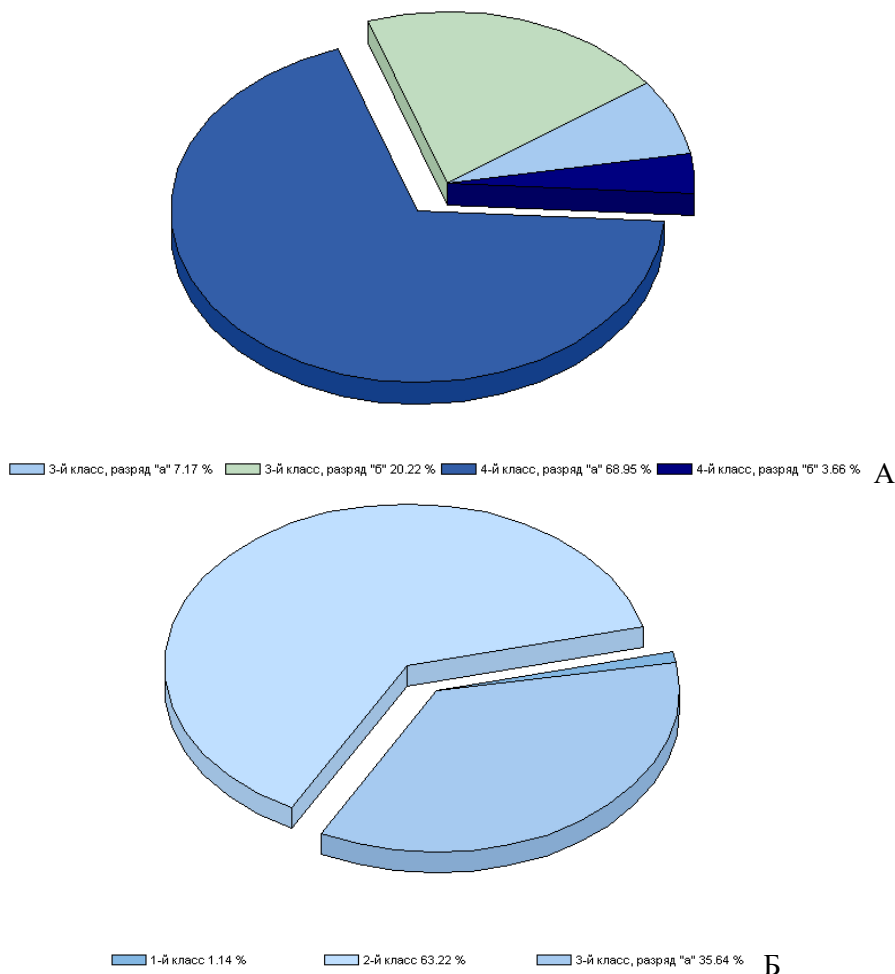


Рисунок 7. Доли частичных объёмов стока воды реки Луга разной загрязнённости, оценённые по классам в 2010 году (А) и в 2017 году (Б)

Figure 7. Shares of partial volumes of the Luga River runoff of different pollution, estimated by classes in 2010 (A) and in 2017 (B)

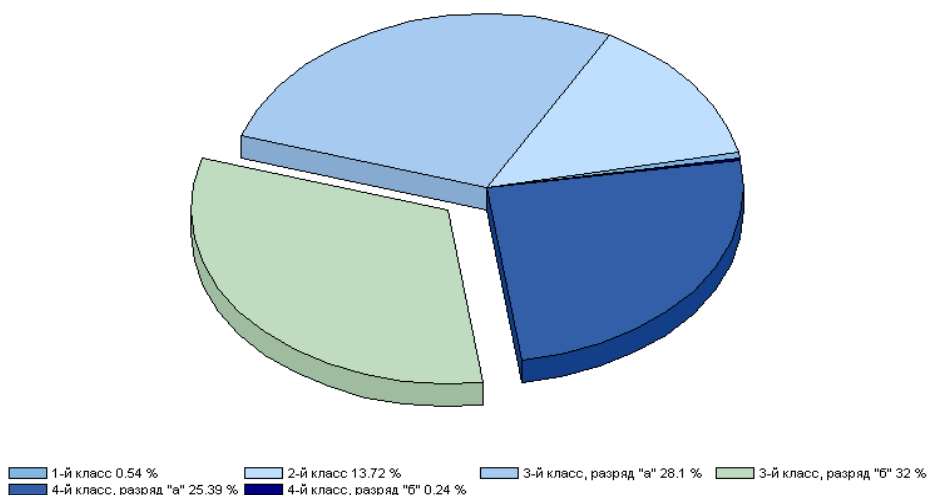


Рисунок 8. Доли частичных объёмов стока воды реки Луга разной загрязнённости, оценённые по классам, средние за период с 2000 по 2017 год

Figure 8. Shares of partial volumes of the Luga River runoff of different pollution, estimated by classes, average for the period from 2000 to 2017

2. Расчётные характеристики качества стока воды реки Луга по единичным показателям.

2.1. Рассчитаны абсолютные значения продолжительностей и объёмов чистого и загрязнённого стока воды в сутках и м³/год и относительные – в процентах. Обобщённые за 2000–2017 гг. характеристики подтвердили, что сток воды, загрязнённой Fe_{общ}, Mn²⁺, Cu²⁺, ХПК и с насыщением воды O₂ ниже нормы, присутствует ежегодно в течение всего периода наблюдений. Средние значения стока воды, загрязнённой каждым из этих компонентов, были максимальными и превысили в разных случаях 70, 80, и даже 90%.

Верхний предел значений V_{заг}% для насыщения воды O₂ ниже нормы, Mn²⁺, Cu²⁺, N-NO₂⁻, Fe_{общ} и ХПК составил 100%; для Pb²⁺ и нефтепродуктов 64,3-79,2%, для O₂ – 39,3%, для остальных компонентов не превысил 16,5%.

2.2 Вычислены «обеспеченности» стока абсолютных и относительных загрязнённых объёмов. Отмечено, что значения концентраций выше ВЗ встречаются в исследуемый период в воде реки Луга, загрязнённой только нитритами и марганцем. В обоих случаях значения ЭВЗ не достигается.

2.3 Рассчитаны графики тенденций изменения годовых значений V_{заг} и V_{заг}% для всех загрязняющих компонентов. Отмечено, что за весь период с 2000 по 2017 год имеет место тенденция уменьшения относительных объёмов стока воды, загрязнённой нефтепродуктами и свинцом, а за период с 2014 по 2017 год – стока воды, загрязнённой нитритами и марганцем. В то же время происходит увеличение относительных объёмов стока воды с содержанием и насыщением воды кислородом ниже нормы.

2.4 Гистограммы – интегральные оценки качества стока воды для каждого года показали, что общее количество загрязняющих компонентов составляло 6 в 2015–2017 гг. и было минимальным. Максимального количества 11 оно достигло в 2003 году. Каждый год в период с 2000 по 2017, часть стока была не насыщена кислородом до нормы, загрязнена органическими веществами по ХПК, общим железом, медью и марганцем, что, по-видимому, можно считать

региональным признаком бассейна реки Луга. Загрязнение нитритами отсутствует только в 2016 и 2017 годах, содержание ниже нормы кислорода не наблюдается в 2000, 2001 и 2015 годах. Особенностью 2000–2007, 2009–2013 гг. является наличие объёмов стока воды, загрязнённой свинцом. Кроме того, сток воды реки Луга загрязняют следующие химические компоненты: нефтепродукты (в 2001-2003, 2006, 2010 годах), лабильные органические вещества по БПК₅ (в 2001, 2002, 2007-2009, 2011-2014 годах), СПАВ (в 2005, 2008 годах), аммонийный азот в 2003 году.

3. Сделана оценка качества стока воды реки Луга по комплексу химических компонентов.

3.1 Был получен «индивидуальный паспорт качества речного стока» для изучаемого участка реки. Загрязнённым в исследуемом ряду был сток воды реки Луга в 2003, 2005, 2015 годах, когда его качество было отнесено к 3-му классу, разряд "а". Менее загрязнённым был сток воды в 2016 и 2017 годах, когда он был охарактеризован как слабо загрязнённый 2-го класса. Наиболее загрязнённым в этом ряду был сток воды в 2006 и 2010 годах. Он отнесён к 4-му классу, разряд "а" и охарактеризован как грязный. Следует отметить, что только в 2010 году в стоке была небольшая доля воды, отнесённая к 4-му классу, разряд "б". В остальные годы сток воды характеризуется как очень загрязнённый 3-го класса, разряд "б". Обобщённое за весь период с 2000 по 2017 год качество стока отнесено к 3-му классу, разряд "б" и охарактеризовано как очень загрязнённый сток.

3.2 Частичные объёмы стока воды разных классов загрязнённости, реализуемые в разные календарные даты, представлены на ежегодных хронологических графиках.

3.3 Для наглядности для каждого года и для всего периода изображено распределение частичных объёмов стока воды разных классов загрязнения по отношению к общему объёму стока в виде круговой диаграммы.

4. Оценка качества стока воды реки Луга с помощью АПК показала, что его использование значительно упрощает обработку и анализ данных наблюдений. Комплекс позволяет автоматически получать как характеристики исходных данных, так и расчётные

характеристики, описывающие качество стока и тенденции его изменения в виде графиков и таблиц, которые могут стать основой для более глубокого изучения причинно-следственных связей их изменчивости в бассейновой геосистеме.

Литература

Караушев А.В., Скакальский Б.Г. Актуальные проблемы исследования качества поверхностных вод // Метеорология и гидрология. 1973. № 10. С. 73-81.

Караушев А.В., Скакальский Б.Г. Проблемы мониторинга качества поверхностных вод суши // Проблемы современной гидрологии: сборник статей. Л.: Гидрометеоздат, 1979. С. 94-105.

Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод / Под ред. А.В. Караушева. Л.: Гидрометеоздат, 1987. 288 с.

Румянцева Э.А., Бобровицкая Н.Н. Методика интегральной оценки многолетних изменений качества речного стока на примере р. Ворскла // Метеорология и гидрология. 2012. №5. С. 85-95.

Румянцева Э.А., Бобровицкая Н.Н., Ильин Е.В. Новый подход к автоматизированному расчёту частичных объёмов речного стока разной степени загрязнения (на примере р. Селенга) // Метеорология и гидрология. 2014. №6. С. 51-60.

Румянцева Э.А., Бобровицкая Н.Н. Загрязнённый сток трансграничных рек на Юго-Востоке Украины, как индикатор угрозы экологической безопасности Ростовской области Российской Федерации при разработке на Украине сланцевого газа // Международные аспекты водного законодательства / Под общ. ред. Г.А. Карлова. М.: Издание Государственной Думы, 2015. С.46-52.

Румянцева Э.А., Бобровицкая Н.Н., Сухоногова Е.С. Единая оценка количества и качества водного стока реки Сейм с помощью новой автоматизированной технологии // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2020. Т.2. Вып. 1. С. 53-70.

References

Karushev A.V. (ed.). *Metodicheskie osnovy otsenki i reglamentirovaniya antropogennogo vliyaniya na kachestvo poverkhnostnykh vod* [Methodological foundations for assessing and regulating the anthropogenic impact on surface water quality]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1987. 288 p. (In Russian).

Karushev A.V., Skakal'skii B.G. Aktual'nye problemy issledovaniya kachestva poverkhnostnykh vod [Actual problems of surface water quality research]. *Meteorologiya i gidrologiya* [Russian Meteorology and hydrology], 1973, no. 10, pp. 73-81. (In Russian).

Karushev A.V., Skakal'skii B.G. Problemy monitoringa kachestva poverkhnostnykh vod sushy [Problems of monitoring land surface water quality]. *Problemy sovremennoi gidrologii: sbornik statei* [Problems of Modern Hydrology: collection of Articles]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1979, pp. 94-105. (In Russian).

Rumyantseva E.A., Bobrovitskaya N.N. Technique of integral assessment of long-term variations of streamflow quality by the example of the Vorskla River. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2012, vol. 37, no. 5, pp. 346-353. DOI: [10.3103/S1068373912050081](https://doi.org/10.3103/S1068373912050081) (Russ. ed.:

Rumyantseva E.A., Bobrovitskaya N.N. Metodika integral'noi otsenki mnogoletnikh izmenenii kachestva rechnogo stoka na primere reki Vorskla. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2012, no. 5, pp. 85-95).

Rumyantseva E.A., Bobrovitskaya N.N., Il'in E.V. A new approach to the automatic computation of partial volumes of river runoff with various degrees of pollution (a case study for the Selenga River). *Russian Meteorology and Hydrology*, 2014, vol. 39, no. 6, pp. 395-401. DOI: [10.3103/S1068373914060053](https://doi.org/10.3103/S1068373914060053) (Russ. ed.:

Rumyantseva E.A., Bobrovitskaya N.N., Il'in E.V.

Румянцева Э.А., Бобровицкая Н.Н. Характеристика качества стока рек России, трансграничных с Беларусью, Украиной и Казахстаном, и его связь с бассейновыми геосистемами // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2020. Т. 2. Вып. 2. С. 173-195. DOI: [10.34753/HS.2020.2.2.173](https://doi.org/10.34753/HS.2020.2.2.173).

Скакальский Б.Г. Оценка качества речных вод // Методы расчёта речного стока: Международные высшие гидрологические курсы ЮНЕСКО при МГУ: в 2 частях. Часть 1. М.: изд. МГУ (МКГК ЮНЕСКО), 1980. С. 98-112.

Смыжова Е.С. Оценка стока биогенных веществ с учётом особенностей гидрохимической информации: Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. СПб., 2010. 27 с.

Шелутко В.А., Колесникова Е.В., Смыжова Е.С. Вопросы оценки качества поверхностных вод по гидрохимическим данным // Материалы V Международной конференции «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон» (г. Санкт-Петербург, 7-9 июля 2010 г.). СПб.: Крисмас+, 2010. С. 30-39.

Novyi podkhod k avtomatizirovannomu raschetu chastichnykh ob'emov rechnogo stoka raznoi stepeni zagryazneniya (na primere r. Selenga). *Meteorologija i gidrologija*, 2014, no. 6, pp. 51-60.

Rumyantseva E.A., Bobrovitskaya N.N., Sukhonogova E.S. Edinaya otsenka kolichestva i kachestva vodnogo stoka reki Seim s pomoshch'yu novoi avtomatizirovannoi tekhnologii [A unified assessment of the quantity and quality of the Seim river water flow using new automated technology]. *Gidrosfera. Opasnye protsessy i yavleniya [Hydrosphere. Hazard processes and phenomena]*, 2020, vol. 2, iss. 1, pp. 53-70. (In Russian; abstract in English). DOI: [10.34753/HS.2020.2.1.53](https://doi.org/10.34753/HS.2020.2.1.53).

Rumyantseva E.A., Bobrovitskaya N.N. The quality characteristic of the Russia rivers runoff, transboundary with Belarus, Ukraine, Kazakhstan and its relationship with basin geosystems. *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*, 2020, vol. 2, iss. 2, pp. 173-195. (In Russian; abstract in English). DOI: [10.34753/HS.2020.2.2.173](https://doi.org/10.34753/HS.2020.2.2.173).

Rumyantseva E.A., Bobrovitskaya N.N. Zagryaznennyi stok transgranichnykh rek na Yugo-Vostoke Ukrainy, kak indikator ugrozy ekologicheskoi bezopasnosti Rostovskoi oblasti Rossiiskoi Federatsii pri razrabotke na Ukraine slantsevogo gaza [Contaminated runoff of transboundary rivers in the South-East of Ukraine as an indicator of the threat to the environmental safety of the Rostov region of the Russian Federation in the development of shale gas in Ukraine]. In Karlov G.A. (ed.) *Mezhdunarodnye aspekty vodnogo zakonodatel'stva [International aspects of water legislation]*. Moscow, Publ. of the State Duma, 2015, pp. 46-52. (In Russian).

Shelutko V.A., Kolesnikova E.V., Smyzhova E.S. Voprosy otsenki kachestva poverkhnostnykh vod po gidrokhimicheskim dannym [Issues of assessing the quality of surface water based on hydrochemical data]. *Materialy Pyatoi Mezhdunarodnoi konferentsii «Ekologicheskie i gidrometeorologicheskie problemy bol'shikh gorodov i promyshlennykh zon» (St. Petersburg, 7-9 iyulya 2010) [Proceedings of the Fifth International Conference "Environmental and*

Hydrometeorological Problems of Large Cities and Industrial Zones" (St. Petersburg, July 7-9, 2010)], St. Petersburg, Publ. Krismas+, 2010, pp. 30-39. (In Russian; abstract in English).

Skakal'skii B.G. Otsenka kachestva rechnykh vod [River water quality assessment]. *Metody rascheta rechnogo stoka: Mezhdunarodnye vysshie gidrologicheskie kursy YuNESKO pri MGU: v 2 chastyakh. Chast' 1. [Methods for calculating river flow: UNESCO International Higher Hydrological Courses at Moscow State University: in 2 parts. Part 1.]*. Moscow, MGU Publ. (MKGK YuNESKO), 1980, pp. 98-112. (In Russian).

Smyzhova E.S. *Otsenka stoka biogennykh veshchestv s uchetom osobennostei gidrokhimicheskoi informatsii. Avtopef. diss. kand. geogr. nauk. [Assessment of the runoff of biogenic substances, taking into account the characteristics of hydrochemical information Ph. D. (Geography) Thesis]*. St. Petersburg, 2010. 27 p. (In Russian).