

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.2021.3.1.39

ФОРМИРОВАНИЕ
ИЗМЕНЧИВОСТИ КАЧЕСТВА
СТОКА В ВЕРХОВЬЯХ РЕКИ
ЛУГИ В МЕЖГОДОВОМ И
КРАТКОСРОЧНОМ
МАСШТАБАХ ВРЕМЕНИ.
ЧАСТЬ 1. МЕЖГОДОВАЯ
ИЗМЕНЧИВОСТЬ

Э.А. Румянцева, Н.Н. Бобровицкая
ФГБУ «Государственный гидрологический
институт», г. Санкт Петербург, Россия
bobrovi@ggi.nw.ru

FORMATION OF VARIABILITY OF
FLOW QUALITY IN THE TOP OF
THE LUGA RIVER IN INTER-
ANNUAL AND SHORT-TERM
TIME. PART 1. INTERANNUAL
VARIABILITY

El'vira A. Rumyantseva,
Nelly N. Bobrovitskaya
Federal State Budgetary Institution "State
Hydrological Institute", St. Petersburg, Russia
bobrovi@ggi.nw.ru

Аннотация. Изучение межгодовой изменчивости качества стока реки Луги производилось в створе посёлка Толмачёво в 3 км ниже впадения реки Оредеж по данным Северо-Западного УГМС 2000–2017 годов. Были рассчитаны доли объёмов ($V_{\text{заг}}\%$) стока воды, загрязнённой единичными и совокупностью загрязняющих веществ. Загрязнённость воды в стоке оценивалась в соответствии с РД 52.24.643-2002¹. 11 лет из 18 проанализированных вода в стоке была «очень загрязнённой», 2 года – «грязной», 3 – «загрязнённой», и только в 2016 и 2017 годах – «слабо загрязнённой». Применение факторного анализа показало, что на варьирование $V_{\text{заг}}\%$ стока наиболее загрязнённой воды 3 и 4 классов оказывает влияние фактор 1 (33% суммарной дисперсии), который связан с величиной наибольших расходов воды. Фактор 2 (22%) имеет положительную связь с варьированием средних и наименьших расходов воды. Выделяются четыре компонента Mn^{2+} , $\text{Fe}_{\text{общ}}$, ХПК и Cu^{2+} , загрязняющие большую часть объёма стока воды ежегодно. Направленные тенденции изменений $V_{\text{заг}}\%$ стока загрязнённой

Abstract. The study of the interannual variability of the flow quality of the Luga River was carried out in the section of the village of Tolmachevo 3 km downstream of the confluence of the Oredezh River according to the data of the North-West UGMS 2000–2017. Water pollution in the runoff was assessed in accordance with RD 52.24.643-2002. For 11 years out of 18, the water in the effluent was “very polluted”, 2 years – “dirty”, 3 – “polluted”, and only in 2016 and 2017 – “slightly polluted”. The use of factor analysis showed that the variation of $V_{\text{zag}}\%$ of the runoff of the most polluted water of classes 3 and 4 is influenced by factor 1 (33% of the total variance), which is associated with the value of the highest water discharge. Factor 2 (22%) has a positive relationship with the variation in average and lowest water discharges. Four components Mn^{2+} , Fe_{tot} , COD and Cu^{2+} are distinguished, polluting most of the volume of water flow annually. Factor 1 (21%) affects $V_{\text{zag}}\%$ of water contaminated with single components. It has a negative relationship with $V_{\text{zag}}\%$ of water, the oxygen saturation of which is below normal. This, possibly, can serve as a marker of the contribution of the Oredezh River to the

¹ РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязнённости поверхностных вод по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 48 с.

воды в сторону уменьшения отмечены для свинца и нефтепродуктов, в сторону увеличения – для нитритов и для воды с насыщением кислородом ниже нормы. На $V_{\text{заг}}\%$ воды, загрязнённой единичными компонентами, влияет фактор 1 (21%). Он имеет отрицательную связь с $V_{\text{заг}}\%$ воды, насыщение кислорода которой ниже нормы. Это может служить маркером вклада реки Оредеж в формирование стока в створе посёлка Толмачёво из-за высокой доли её питания грунтовыми водами. Фактор 2 (18%) показал обратную связь между варьированием $V_{\text{заг}}\%$ стока воды, загрязнённой Cu^{2+} , и средними годовыми расходами воды. В первом и во втором случаях главные факторы находились в противофазах и поддерживали высокую загрязнённость воды. С 2014 по 2017 год они выходят из противофазы и загрязнённость воды снижается.

Ключевые слова: изменчивость качества стока; режимные наблюдения; загрязнённый сток; факторы формирования качества стока; факторный анализ; доли объёмов загрязнённого стока

Введение

Водосборный бассейн реки Луги принадлежит Балтийской водной системе. Данная река является самой протяжённой рекой² Ленинградской области длиной 353 км, впадает в Лужскую губу Финского залива. Площадь водосборного бассейна составляет 13 200 км². Его небольшая часть расположена в Новгородской области (Нетьльские болота), где находится исток реки, однако основное питание она получает на территории Лужского района. Главным её притоком является река Оредеж, которая берёт начало на южном склоне Ижорской возвышенности из небольшого водоёма, образовавшегося в месте выхода ключей в районе Кюрлевского карьера. Она впадает в реку Луга справа [Ресурсы поверхностных вод СССР, 1965]. В верховье река Оредеж зарегулирована шестью

плотинами бывших малых ГЭС с водохранилищами небольшой ёмкости.

formation of runoff in the section of the village of Tolmachevo. Factor 2 (18%) showed an inverse relationship between the variation of $V_{\text{заг}}\%$ of the runoff of water contaminated with Cu^{2+} and the average annual water discharges.

Keywords: variability of flow quality; routine observations; polluted runoff, factors of runoff quality formation; factor analysis; proportion of polluted runoff volumes

плотинами бывших малых ГЭС с водохранилищами небольшой ёмкости.

Лужский район расположен в зоне южной тайги, более половины (56%) территории района покрыто лесами, заболочено около 20%. Среди почв Лужского района преобладают подзолистые почвы, болотные торфяно-глеевые, дерново-подзолистые, а на юго-востоке – дерново-карбонатные. На территории верховых болот господствуют торфяники.

Болотные комплексы играют важную роль в водном режиме территории, в поддержании уровня грунтовых вод, регулировании речного стока рек, питания озёр [Перехрест, Печковская, 1974; Иванов, 1975; Боч, Мазин, 1979].

Питание реки Луги смешанное, с преобладанием снегового, с ярко выраженными весенним половодьем, осенним паводком, зимней и летней меженью. Средний годовой расход воды

² Луга (река) // Большая советская энциклопедия: в 30 т. / гл. ред. А.М. Прохоров. М.: Советская энциклопедия, 1974. С. 44.

реки Луги – около 100 м³/с. Расчёт линейного тренда³ позволил сделать вывод, что в рядах годового стока реки тренд отсутствует. Существенное влияние на внутригодовое распределение стока оказывает карст, особенно в верхнем течении реки Оредеж. Карст значительно снижает удельный вес стока весеннего половодья. Характерной особенностью является повышенное грунтовое питание, получаемое за счет карстовых вод Силурийского плато. Поэтому для реки Луги соотношение между водопотреблением и водоотведением в реку имеет в основном отрицательное значение³. Это связано со значительным водопотреблением из подземных источников и дальнейшим сбросом этих вод в реки.

Наиболее негативное влияние на состояние природной среды Лужского административного района оказала разработка торфяных месторождений Нетьльских болот в 80-ые годы XX века. После мелиорации уровень воды в реке Луге понизился на 1–3 метра. Это привело в то время к гибели рыбного стада, закрытию речного судоходства и снижению уровня грунтовых вод. В июле–августе 1999 года здесь горели большие лесные и болотные массивы, по-видимому, в результате самовозгорания [Марголина, 2002].

Цель и объект исследований

Целью исследований явилось изучение основных факторов, формирующих межгодовую изменчивость качества водного стока в верхнем течении реки Луги, с применением характеристик, разработанных в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Государственный гидрологический институт» (далее – ФГБУ «ГГИ»).

В соответствии с водохозяйственным районированием бассейна реки Луги и рек бассейна Финского залива, выполненным

Центром Регистра и Кадастра Министерства природных ресурсов Российской Федерации в 2007 году⁴, и согласно детализации рассматриваемой территории³ выделено 8 «расчетных водохозяйственных подучастков» (далее – РВП) (рисунок 1). Объектом данной работы явилось верхнее течение реки Луги на водохозяйственных участках РВП 01.03.00.005.1 и 01.03.00.005.2.

В работе использовались данные гидрохимических наблюдений Северо-Западного УГМС. Пост гидрохимических наблюдений находится на 1 км выше посёлка городского типа (далее – п.г.т.) Толмачёво и на 3 км ниже впадения в реку Луга её главного притока реки Оредеж. Площадь водосборного бассейна реки Луги до изучаемого створа – 6 350 км², из которых 3 220 км² приходится на водосбор реки Оредеж². Средний расход воды в створе реки Луги – п.г.т. Толмачёво за период 2000–2017 годы составил 39,23 м³/с. По данным водного кадастра расход воды реки Оредеж на 26 км от устья в 1986 году был около 20 м³/с [Государственный водный кадастр, 1986]. Таким образом, оба водотока имеют почти равноценное влияние на формирование стока в створе.

Наиболее освоенной является центральная часть водохозяйственных участков, где расположены крупные населённые пункты (город Луга, п.г.т. Толмачёво) и сосредоточены основные промышленные и транспортные магистрали. Основными точечными источниками загрязнения являются Лужские муниципальные предприятия жилищно-коммунального хозяйства, промышленные предприятия, сельскохозяйственные и рекреационные объекты (санатории, спортивные и детские базы) и поверхностный сток с водосбора. Основную доходную часть бюджета района формируют следующие предприятия [Марголина, 2002]:

³ Пояснительная записка к сводному тому проекта нормативов допустимого воздействия рек и озёр бассейна Финского залива (от границы Российской Федерации до северной границы бассейна реки Нева). СПб: ГГИ, 2012. 81 с.

⁴ Постановление Правительства Российской Федерации от 30.06.2006 г. № 728 «О гидрографическом и водохозяйственном районировании территории Российской Федерации и утверждении границ бассейновых округов»

Приказ Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 11.10.2007 г. № 265 «Об утверждении границ бассейновых округов».

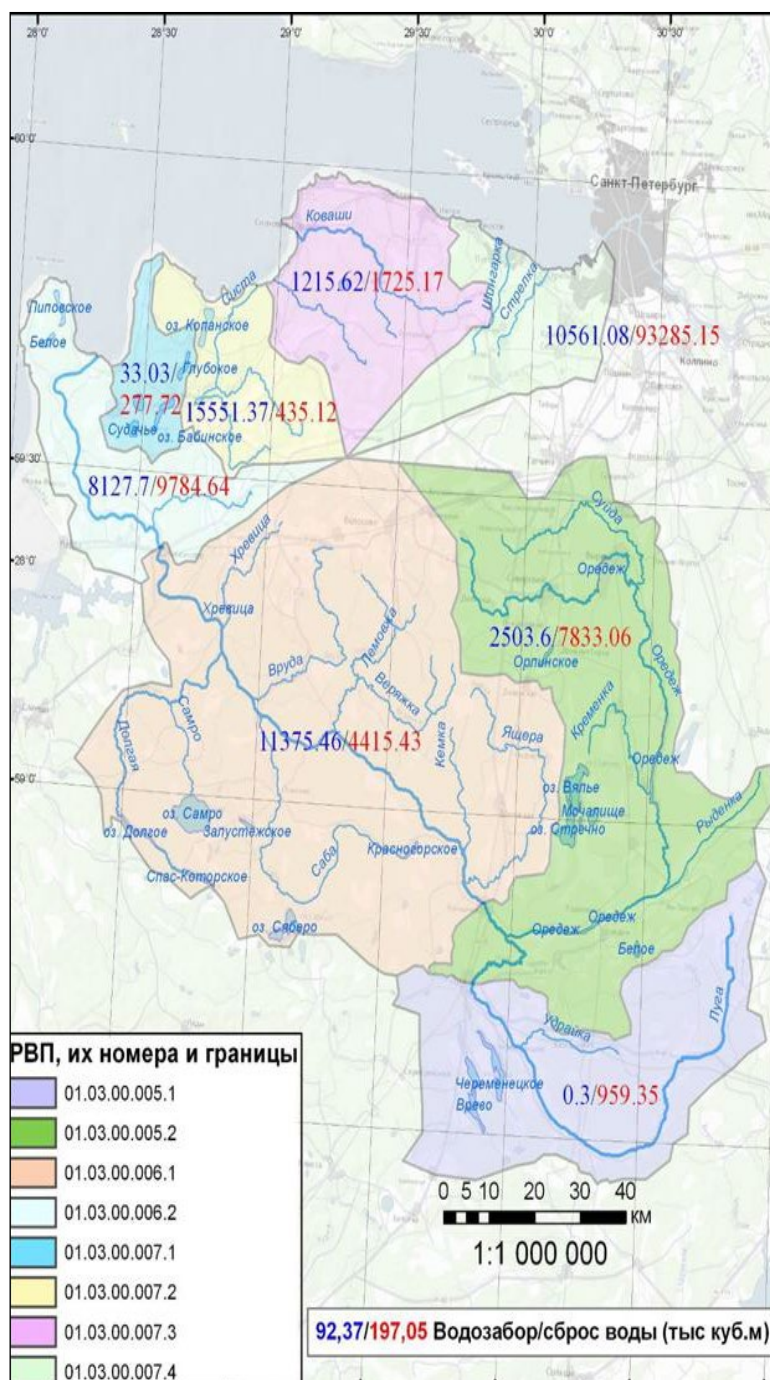


Рисунок 1. Величины заборов и сбросов воды по РВП бассейна реки Луги и водных объектов южной части Финского залива.

Figure 1. Values of water intakes and discharges for the RVP of the Luga River basin and water bodies in the southern part of the Gulf of Finland.

АООТ «Лужский абразивный завод»,
 ОАО «Лужский завод «Белкозин»,
 АООТ «Лужский молочный комбинат»,
 АООТ «Толмачевский завод ЖБ и МК».

Одним из диффузных источников загрязнения речной воды являются ливневые стоки с селитебных и промышленных зон. Сброс

ливневых вод в водотоки осуществляется в основном в городах и на крупных предприятиях. Данные об этих объёмах воды приводятся в ежегодных отчётах по форме №2-ТП (водхоз). Неучтённый ливневой³ сброс воды, поступающий с урбанизированной территории, с сельскохозяйственных угодий, от

жизнедеятельности животных, с территории сельских поселений, не имеющих канализации и очистных сооружений, в сумме превышает учтённый в 1,4–3,5 раза.

Ещё один путь загрязнения вод – это осаждение загрязняющих веществ из воздуха, в котором содержатся выбросы промышленных предприятий, выхлопные газы. Находящиеся в воздухе частицы могут увлекаться осадками на поверхность водоёмов. Лужский район подвержен поступлению загрязняющих веществ, связанных с трансграничным переносом с Украины, Эстонии, Беларуси, Польши, Германии, Великобритании, Финляндии. Наибольшее количество выбросов в атмосферу принадлежит предприятиям ОАО «Лужский завод «Белкозин» и АООТ «Лужский абразивный завод» [Марголина, 2002].

Существенное значение в загрязнении имеют основные транспортные магистрали. В городе Луга находятся автомобильные мосты в направлениях: Луга – Кингисепп (между населёнными пунктами Луга и Толмачёво), у деревни большой Сабск в сторону деревни Липа, между пунктами Ивановское и Загорье, а также железнодорожные мосты на перегоне платформа Партизанская – Толмачёво Лужского направления, на перегоне Кленна – Криуши направления Вермайн – Сланцы.

На основе анализа³ таблиц по форме №2-ТП (водхоз), данных по массе и структуре сбросов, обобщённых за 2007–2009 годы по водохозяйственным подучасткам, наибольший вклад в суммарную массу загрязняющих веществ, принадлежит предприятиям жилищно-коммунальной отрасли.

Методы

Для изучения многолетней межгодовой неоднородности качества стока были использованы две группы характеристик, разработанные в ФГБУ «ГГИ». В обоих случаях это доли объёмов загрязнённого стока, который выражается отношением объёма стока загрязнённой воды $V_{\text{заг}}$, перенесённой через заданный створ за год, ко всему годовому стоку реки $V_{\text{год}}$, то есть это относительный объём стока

загрязнённой воды ($V_{\text{заг}}\%$) [Караушев, Скакальский, 1979; Скакальский, 1980; Румянцева, Бобровицкая, 2012]. К первой группе характеристик относятся относительные объёмы стока воды, загрязнённой единичными компонентами. Ко второй – относительные величины частичных объёмов стока воды, загрязнённой совокупностями химических компонентов, оценённых по классам и разрядам в соответствии с РД 52.24.643-2002¹, на основе которых рассчитывается годовая оценка качества стока [Румянцева, Бобровицкая, Ильин, 2014; Румянцева, Бобровицкая, Шмакова, 2020]. В первой группе характеристик ($V_{\text{заг}}\%$) всегда сопровождаются наименованием соответствующего единичного химического компонента, во втором – классификацией качества воды данной доли стока ($V_{\text{заг}}\%$).

Расчёты проведены по данным гидрохимических и гидрологических наблюдений Северо-Западного УГМС с помощью автоматизированного программного комплекса, разработанного в ФГБУ «ГГИ».

Для изучения механизмов, формирующих временную изменчивость качества водного стока в верхнем течении реки Луги, годовые значения его характеристик обрабатывались с помощью факторного анализа, позволяющего объединить в одну группу переменные прямо или косвенно связанные с определённым процессом или источником [Иберла, 1980; Драйвер, 1985].

Характеристика качества стока в створе реки Луги – п.г.т. Толмачёво в 2000–2017 годах по относительным объёмам стока, загрязнённого совокупностью химических компонентов

С помощью автоматизированного программного комплекса для каждого года рассчитаны относительные объёмы загрязнённого стока воды, различающиеся по совокупности загрязняющих веществ, с определением класса загрязнённости воды и характеристикой состояния загрязнённости в данном пункте наблюдений (таблица 1). В соответствии с расчётами сток воды через створ реки Луги – п.г.т. Толмачёво 11 лет из 18 был

«очень загрязнённый», два года (2006 и 2010) – «грязный». В 2003, 2005 и 2015 годах он охарактеризован как «загрязнённый», и только в 2016 и 2017 годах – как «слабо загрязнённый». Эти оценки дают только самую обобщённую

характеристику качества годового стока воды. Сток реки не однороден и содержит различные доли частичных объёмов разной степени загрязнённости, которые в свою очередь можно оценить по классам и разрядам (таблица 1).

Таблица 1. Характеристика качества стока воды в створе реки Луги – п.г.т. Толмачёво в 2000–2017 годах по относительным объёмам стока воды, загрязнённой совокупностью химических компонентов.

Table 1. Characteristics of the quality of water flow in the section of the Luga River Tolmachevo in 2000–2017 by the relative volumes of water flow contaminated with a set of chemical components.

Годы	Среднегодовая характеристика качества стока	Среднегодовое обозначение класса и разряда качества стока воды	Среднегодовые частичные объёмы ($V_{\text{зар}}\%$) стока воды, оценённые по классам и разрядам					
			1	2	3 «а»	3«б»	4 «а»	4 «б»
2000	Очень загрязнённый	3-й, "б"				29,92	70,08	
2001	Очень загрязнённый	3-й, "б"		9,32	38,54	12,35	39,79	
2002	Очень загрязнённый	3-й, "б"		0,43	40,76	46,35	12,46	
2003	Загрязнённый	3-й, "а"			65,92	32,91	1,17	
2004	Очень загрязнённый	3-й, "б"		1,52	47,71	42,55	8,22	
2005	Загрязнённый	3-й, "а"		10,7	46,9	42,4		
2006	Грязный	4-й, "а"			5,76	24,08	70,16	
2007	Очень загрязнённый	3-й, "б"			54,97	35,19	9,84	
2008	Очень загрязнённый	3-й, "б"			59,43	9,06	31,51	
2009	Очень загрязнённый	3-й, "б"		9,71	27,86	9,96	52,47	
2010	Грязный	4-й, "а"			7,17	20,22	68,95	3,66
2011	Очень загрязнённый	3-й, "б"		1,52	3,12	58,46	36,9	
2012	Очень загрязнённый	3-й, "б"			53,84	17,48	28,68	
2013	Очень загрязнённый	3-й, "б"			18,61	31,85	49,54	
2014	Очень загрязнённый	3-й, "б"		0,09	14	85,07	0,84	
2015	Загрязнённый	3-й, "а"	12,54	6,4	81,06			
2016	Слабо загрязнённый	2-й	1,14	63,22	35,64			
2017	Слабо загрязнённый	2-й	0,36	99,64				

Факторы, влияющие на многолетнюю динамику частичных объёмов стока воды, загрязнённой совокупностью химических компонентов, в створе реки Луги – п.г.т. Толмачёво в 2000–2017 годах

Целью применения факторного анализа является сокращение переменных до меньшего числа «факторов», которые в дальнейшем могут быть интерпретированы (термин «фактор» здесь используется в строго математическом смысле) [Драйвер, 1985].

Мерой сходства между сравниваемыми годами явилась корреляционная матрица, которая обрабатывалась по методу главных компонент, в

результате чего была получена матрица главных факторов, выражающая состав факторов через исходные переменные (таблица 2).

Из таблицы 2 следует, что на межгодовое варьирование относительных объёмов наиболее загрязнённых долей стока воды 3 класса разряд «б» и 4 класса разряд «а», и соответственно удельного комбинаторного индекса загрязнённости воды (далее – УКИЗВ) оказывает влияние фактор 1, составляющий почти 33% суммарной дисперсии. Жирным начертанием черного цвета в таблице 2 выделены значения высоких факторных нагрузок перечисленных переменных.

Таблица 2. Матрица основных факторов, определяющих межгодовое варьирование частичных объёмов стока воды, загрязнённой совокупностью химических компонентов, в створе реки Луги – п.г.т. Толмачёво в 2000–2017 годах.

Table 2. Matrix of the main factors that determine the interannual variation of the partial volumes of the runoff of water polluted by a set of chemical components in the section of the Luga river of the urban settlement Tolmachevo in 2000–2017.

Переменные	Без вращения факторных осей		
	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Среднегодовые величины			
Температура воды холодного периода	0,05508	-0,26072	0,777545
Температура воды теплого периода	0,49032	-0,20563	0,164410
Q средний расход воды м ³ /с	-0,18273	0,88669	-0,296997
Q наибольший расход воды м ³ /с	-0,65341	0,35049	-0,312626
Q наименьший расход воды м ³ /с	-0,05957	0,71155	-0,072014
V _{заг} % воды 3 класса разряд «а»	0,46711	-0,47606	-0,388087
УКИЗВ 3 класса разряд «а»	-0,17446	-0,73627	-0,439376
V _{заг} % воды 3 класса разряд «б»	-0,47787	-0,38924	-0,188321
УКИЗВ 3 класса разряд «б»	-0,84781	-0,27901	-0,147186
V _{заг} % воды 4 класса разряд «а»	-0,72306	0,18486	0,434769
УКИЗВ 4 класса разряд «а»	-0,83154	-0,19984	0,096867
УКИЗВ	-0,91063	-0,20586	0,111472
Доля общей дисперсии, %	32,89	22,00	11,95

При этом наблюдается прямая связь варьирования указанных характеристик загрязнённости воды в стоке с величиной межгодовых флуктуаций наибольших её расходов. Факторная нагрузка этой переменной близка к высокой и отмечена в таблице жирным начертанием синего цвета.

Фактор 2 составляет 22% суммарной дисперсии. Он демонстрирует обратную связь между варьированием УКИЗВ, долей объёмов воды 3 класса разряда «а» и варьированием среднего и минимального расходов воды, которые обычно, как по нашим данным, так и по данным других авторов [Езерова, Киреева, Фролова, 2015] связаны коэффициентом корреляции, равным 0,75. Фактор 3, составляющий почти 12% от суммарной дисперсии, связан прямой зависимостью с температурой воды холодного периода. Вращение факторных осей не произвело существенных изменений в структуре факторного пространства.

По численным значениям первых двух факторов было произведено группирование случаев (годов) (Рисунок 2).

По положению проекций случаев на графике 2 выделено 6 условных групп годов. Группы отличаются друг от друга пределами значений средних и наибольших расходов воды, которые уменьшаются от группы 1 к группе 3. При этом значения УКИЗВ уменьшаются незначительно, то есть загрязнённость стока остаётся высокой (таблица 3). В этих группах пунктиром выделены подгруппы, проекции годов которых наиболее близки друг другу. В рамках своих групп они отличаются либо высокими значениями наибольшего расхода воды (подгруппы 1б и 2б), либо низким значением среднего расхода воды (подгруппа 2в), что приводит к большим значениям УКИЗВ. Следует отметить, что исключением явилась подгруппа 1в (2000 год), когда большое значение УКИЗВ не было обеспечено этими условиями. Меньшие значения УКИЗВ в пределах групп обусловлены высоким значением среднего расхода воды (подгруппы 1г и 2б).

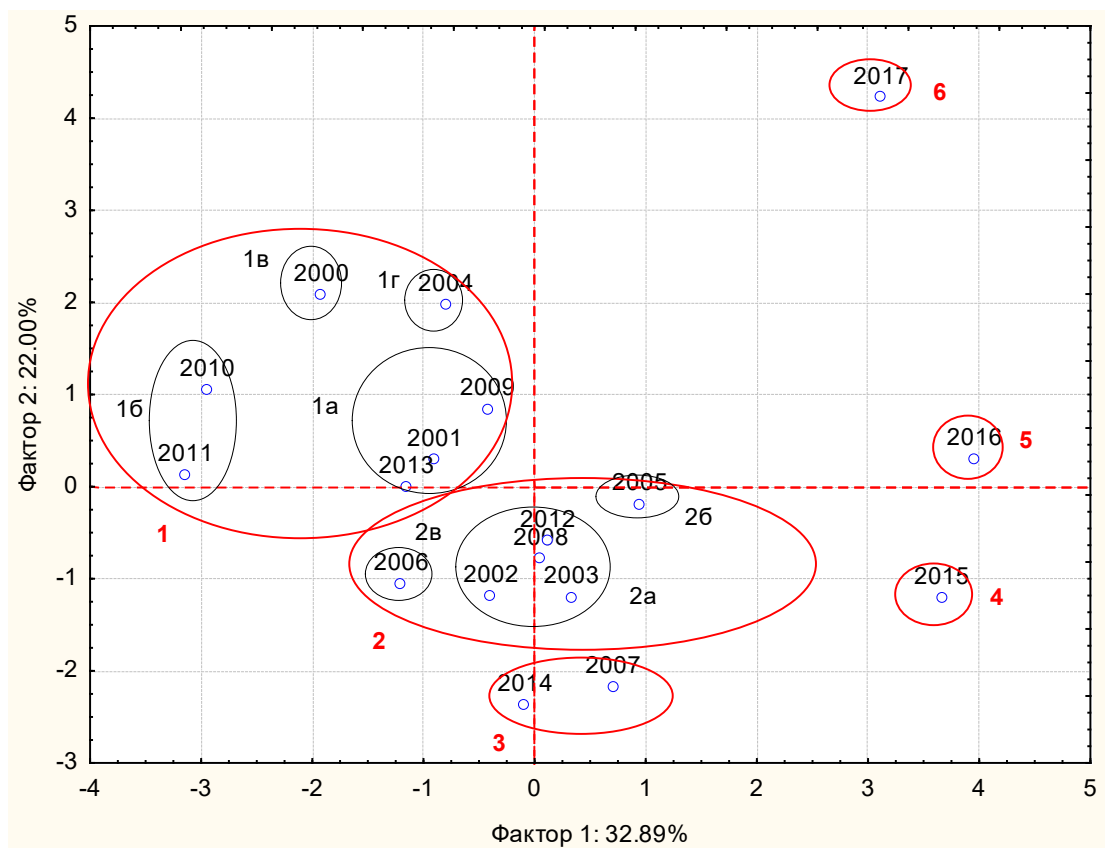


Рисунок 2. Группирование случаев (годов) в координатах главных факторов, определяющих межгодовое варьирование относительных объёмов стока воды, загрязнённой совокупностью химических компонентов, в створе реки Луги – п.г.т. Толмачёво в 2000–2017 годах.

Figure 2. Grouping of cases (years) in the coordinates of the main factors that determine the interannual variation in the relative volumes of water runoff, polluted by a set of chemical components, in the section of the Luga River in the urban settlement Tolmachevo in 2000–2017.

Сравнение рисунков 3 и 4 показывает, что многолетняя динамика фактора 2 (рисунок 3) почти полностью повторяет многолетние тенденции среднего расхода воды (рисунок 4А), а динамика фактора 1 (рисунок 3) имеет менее выраженное сходство с перевёрнутым отражением динамики наибольшего расхода воды

(рисунок 4Б). Оба фактора постоянно находились в противофазе и поддерживали постоянно высокую загрязнённость воды, проходящей через створ. Исключением явился период с 2014 по 2017 год, когда оба фактора выходят из противофазы и способствуют снижению загрязнённости воды (рисунок 3, таблица 3).

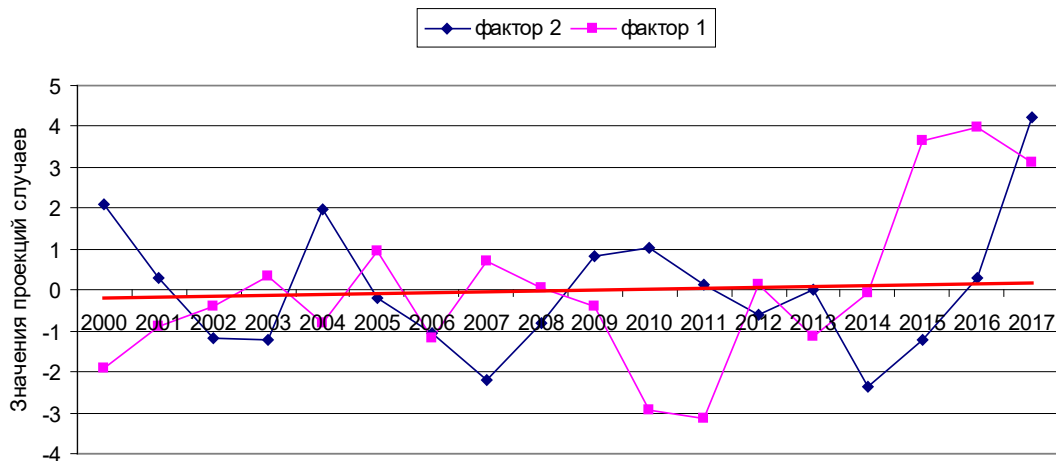


Рисунок 3. Изменение значений проекций случаев на координаты двух главных факторов в створе реки Луги – п.г.т. Толмачёво в 2000–2017 годах.

Figure 3. Changing the values of case projections on the coordinates of the two main factors in the alignment of the Luga River, urban-type settlement Tolmachevo in 2000–2017.

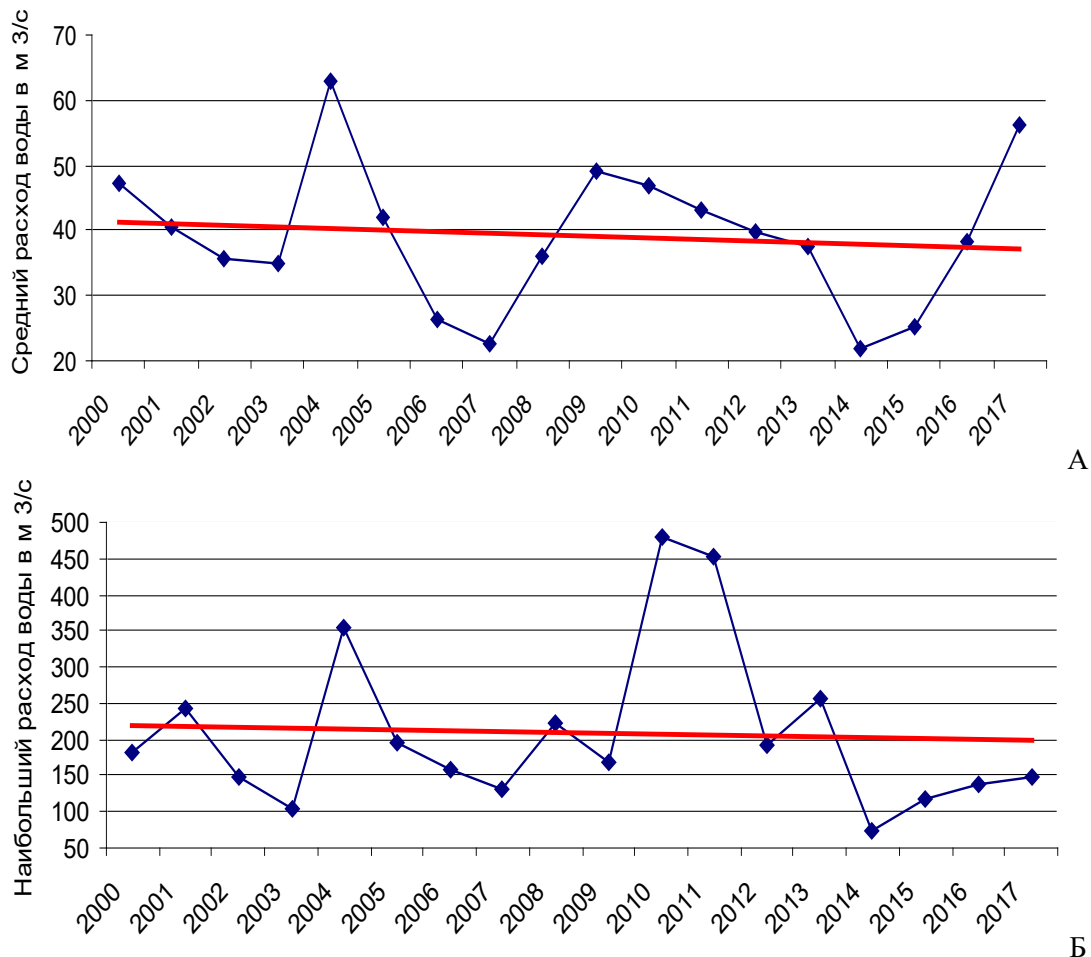


Рисунок 4. Многолетние тенденции годовых значений среднего (А) и наибольшего (Б) расходов воды в створе реки Луги – п.г.т. Толмачёво в 2000–2017 годах.

Figure 4. Long-term trends of annual values of average (A) and maximum (B) water discharge in the section of the Luga River, urban-type settlement Tolmachevo in 2000–2017.

Таблица 3. Отличия групп и подгрупп годов по средним и наибольшим расходам воды, а также по значениям УКИЗВ в створе реки Луги – п.г.т. Толмачёво в 2000–2017 годах.

Table 3. Differences between groups and subgroups of the years in terms of average and maximum water flow rates, as well as in terms of the values of the UCIZV in the Luga River, urban settlement Tolmachevo in 2000–2017.

Группа	Подгруппа	Годы	Средние расходы воды, м ³ /с	Наибольшие расходы воды, м ³ /с	УКИЗВ за год
1	1а	2001	40,7	243	2,02
		2009	49,2	169	2,02
		2013	37,5	255	2,03
	1б	2010	46,9	479	2,34
		2011	43,3	451	2,27
	1в	2000	47,4	183	2,4
	1г	2004	62,9	353	1,93
Пределы значений			37,5–62,9	169–479	1,93–2,4
2	2а	2002	35,8	148	1,94
		2003	35,02	103	1,92
		2008	36	221	1,96
		2012	39,7	193	1,91
	2б	2005	42	194	1,89
	2в	2006	26,2	157	2,15
	Пределы значений			26,2–42	103–221
3		2007	22,6	130	1,94
		2014	21,7	73,8	1,95
	Пределы значений			21,7–22,6	73,8–130
4		2015	25,1	119	1,7
5		2016	38,2	139	1,24
6		2017	56,2	147	1,2

Характеристика качества стока в створе реки Луги – п.г.т. Толмачёво в 2000–2017 годах по относительным объёмам стока воды, загрязнённой единичными химическими компонентами

В таблице 4 приведены величины долей годового стока воды, загрязнённой соответствующими единичными компонентами.

Выделяются четыре компонента Mn^{2+} , $Fe_{общ}$, ХПК и Cu^{2+} , которые загрязняли весь или большую часть объёма стока воды ежегодно. Динамика изменений относительных объёмов стока воды, загрязнённой этими компонентами, а также нитритами, нефтепродуктами, свинцом и с насыщением воды кислородом ниже нормы представлена на рисунках 5 и 6.

Таблица 4. Характеристика качества стока воды в створе реки Луги – п.г.т. Толмачёво в 2000–2017 годах по относительным объёмам стока, загрязнённого единичными химическими компонентами.

Table 4. Characteristics of the quality of water flow in the section of the river. Meadows of the Tolmachevo for the period in 2000–2017 by the relative volumes of runoff polluted by single chemical components.

Годы	V _{заг} %									
	Насыщ. O ₂ <70%	Нефте- продукты	СПАВ	NO ₂ ⁻	Cu ²⁺	БПК ₅	ХПК	Fe _{общ}	Pb ²⁺	Mn ²⁺
2000	10,7	0,01	0	33,3	95,4	0	100	100	79,2	100
2001	9,2	64,3	0	77,6	100	1,7	100	87,5	29,5	98,5
2002	63,4	41,0	0	42,0	100	0	100	100	11,0	95,2
2003	52,3	2,0	0	8,2	100	16,5	67,1	100	19,9	100
2004	41,4	0	0	43,4	77,8	0	97,0	100	38,9	100
2005	88,2	0	8,1	19,3	89,9	0	94,6	100	37,3	97,4
2006	75,0	3,0	0	95,5	100	0	100	100	11,1	100
2007	80,0	0	0	23,1	100	3,2	100	100	9,3	100
2008	74,2	0	2,7	54,8	99,4	7,0	100	100	0,01	100
2009	91,0	0	0	62,2	85,3	0,5	100	100	37,0	100
2010	86,2	1,3	0	98,1	81,1	0	100	100	29,1	100
2011	82,3	0	0	0	100	8,8	100	99,9	7,5	100
2012	87,1	0	0	37,2	100	9,7	100	100	8,9	1,8
2013	89,6	0	0	96,6	99,9	8,0	99,9	100	6,7	88,8
2014	62,0	0	0	100	99,9	9,2	100	100	0	99,5
2015	91,6	0	0	87,4	96,3	0	95,2	86,4	0	5,0
2016	100	0	0	0	78,6	0	97,2	100	0	30,6
2017	100	0	0	0	100	0	99,6	100	0	1,8
пре- делы	9,2–100	0–64,3	0–8,1	0-100	77,8-100	0-16,5	67,1-100	86,4-100	0-79,2	1,8-100

В отличие от относительных объёмов стока воды, загрязнённой Fe_{общ}, ХПК и Cu²⁺, очень высокие значения, которых лишь в отдельные годы снижались точно в виде небольших пиков (рисунки 5А, 5Б и 5Г), относительный объём стока воды, загрязнённой Mn²⁺, показал резкое снижение в 2015–2017 годах (рисунок 5В). Направленные тенденции изменений относительных объёмов стока загрязнённой воды в сторону уменьшения с 2000 по 2017 год отмечены для свинца и

нефтепродуктов (рисунок 6Б и 6Г), в сторону увеличения – для нитритов и для воды с насыщением кислородом ниже нормы (рисунок 6А и 6В).

Следует отметить, что рост относительных объёмов стока воды, загрязнённой нитритами, имел место до 2014 года, а в 2015–2017 годах произошло их резкое снижение, аналогично снижению объёмов стока воды, загрязнённой Mn²⁺.

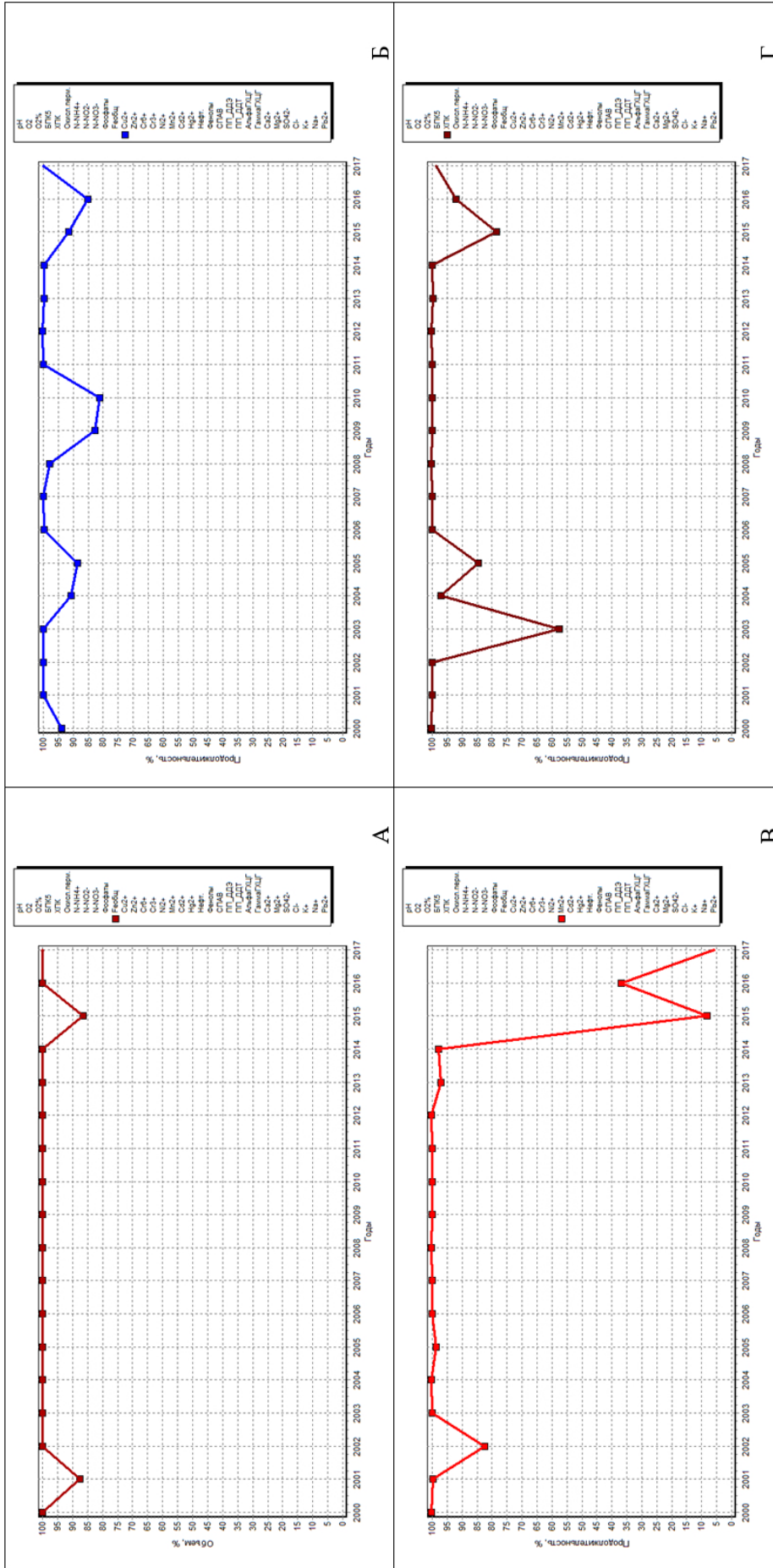


Рисунок 5. Динамика изменений относительных объёмов стока воды в створе реки Луга – п.г.т. Толмачёво, загрязнённой железом (А), медью (Б), марганцем (В) и органическими веществами по ХПК (Г) за период с 2000 по 2017 год

Figure 5. Dynamics of changes in the relative volumes of water flow in the section of the Luga River urban settlement. Tolmachevo, contaminated with iron (А), copper (Б), manganese (В) and organic substances by COD (Г) for the period from 2000 to 2017

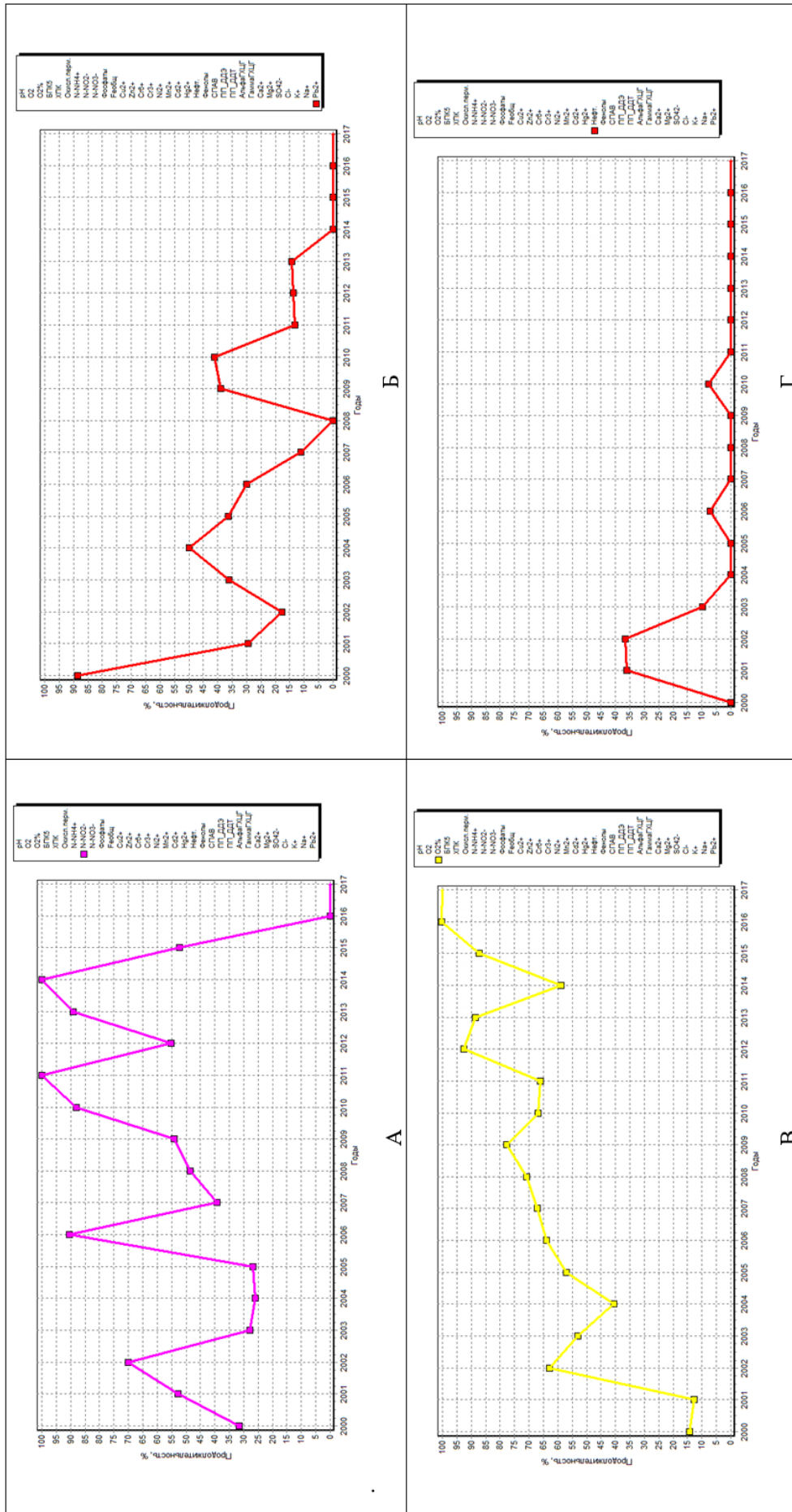


Рисунок 6. Динамика изменений относительных объёмов стока воды в створе реки Луга – п.г.г. Толмачёво, загрязнённой NO₂⁻ (А), свинцом (Б), с насыщением воды кислородом ниже нормы (В), и загрязнённой нефтепродуктами (Г) за период с 2000 по 2017 год

Figure 6. Dynamics of changes in the relative volumes of water flow in the section of the Luga River urban settlement Tolmachevo, contaminated with NO₂⁻ (А), lead (Б), with water saturation with oxygen below normal (В), and contaminated with oil products (Г) for the period from 2000 to 2017

Факторы, влияющие на многолетнюю динамику относительных объёмов стока воды, загрязнённой единичными химическими компонентами, в створе реки Луги – п.г.т. Толмачёво в 2000–2017 годах

В результате применения факторного анализа была получена матрица главных факторов, которая характеризует их связь с временным варьированием среднегодовых величин относительных объёмов стока воды, загрязнённой единичными химическими компонентами (таблица 5).

Из таблицы 5 следует, что на варьирование относительных объёмов стока воды, загрязнённой

единичными химическими компонентами, в основном оказывает влияние фактор 1. Этот фактор составил почти 21% суммарной дисперсии. Он находится в обратной связи с варьированием объёмов стока воды, которая имеет насыщение кислородом ниже нормы, и в прямой связи с временным варьированием $V_{\text{заг}}\%$ стока воды, загрязнённой Pb^{2+} , а также с годовыми значениями УКИЗВ. Следует отметить, что жирным начертанием чёрного цвета в таблице 5 выделены значения высоких факторных нагрузок для перечисленных переменных. Факторные нагрузки переменных близкие к высоким отмечены жирным начертанием синего цвета.

Таблица 5. Матрица основных факторов, определяющих временное варьирование среднегодовых величин относительных объёмов стока воды, загрязнённой единичными химическими компонентами в створе реки Луги – п.г.т. Толмачёво в 2000–2017 годах.

Table 5. Matrix of the main factors that determine the temporal variation of the average annual values of the relative volumes of the runoff of water polluted by single chemical components in the section of the Luga River in the urban-type settlement Tolmachevo in 2000–2017.

Переменные	Без вращения факторных осей			После вращения факторных осей		
	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
$V_{\text{заг}}\%$ O_2 мг	-0,50408	-0,29363	-0,44345	-0,16897	-0,10096	-0,70585
$V_{\text{заг}}\%$ O_2 %	-0,76401	-0,24260	-0,31734	-0,40651	-0,27311	-0,70951
$V_{\text{заг}}\%$ нефтепродукты	0,39775	0,37700	0,42541	0,13909	-0,02929	0,67904
$V_{\text{заг}}\%$ СПАВ	-0,02923	-0,24171	-0,12547	-0,02949	0,16481	-0,21676
$V_{\text{заг}}\%$ NO_2^-	0,28361	0,54488	-0,25373	0,55489	-0,31712	0,18233
$V_{\text{заг}}\%$ Cu^{2+}	-0,17526	0,74128	-0,00599	0,15885	-0,70453	0,24219
$V_{\text{заг}}\%$ БПК ₅	-0,25043	0,44644	-0,50220	0,31393	-0,56945	-0,30233
$V_{\text{заг}}\%$ ХПК	0,19315	-0,01428	0,11875	0,05037	0,13564	0,17514
$V_{\text{заг}}\%$ $\text{Fe}_{\text{общ}}$	-0,09984	-0,32826	-0,64094	0,21788	0,13002	-0,68128
$V_{\text{заг}}\%$ Pb^{2+}	0,79013	-0,32787	0,06285	0,37500	0,72097	0,27447
$V_{\text{заг}}\%$ Mn^{2+}	0,57941	0,28934	-0,48977	0,81100	0,02812	0,02828
Q средний расход воды, м ³ /с	0,44880	-0,76044	-0,13266	0,10769	0,85670	-0,22749
Q наибольший расход воды м ³ /с	0,51507	-0,16661	0,55471	0,64007	0,35568	-0,25407
Q наименьший расход воды м ³ /с	0,54921	-0,60388	0,29545	-0,03814	0,84004	0,21560
Температура воды холодного периода	0,12547	0,39364	0,50494	-0,08999	-0,18624	0,61877
Температура воды тёплого периода	-0,27958	-0,28767	0,41018	-0,55642	0,12939	0,05306
УКИЗВ	0,71991	0,39894	-0,43369	0,91122	0,02500	0,18590
Доля общей дисперсии, %	20,93	17,99	14,73	18,03	18,87	16,75

Значения средних многолетних концентраций насыщения воды кислородом в воде изучаемого створа ниже нормативного в течение всех сезонов года, по-видимому, могут служить маркером вклада реки Оредеж в формирование стока в изучаемом створе, так как река имеет значительное питание грунтовыми водами. Учитывая то, что связь с условным маркером отрицательная, можно предположить, что фактор является долей влияния реки Луги. Фактор 2 составил почти 18% суммарной дисперсии и показал обратную связь между варьированием $V_{\text{заг}}\%$ стока воды, загрязнённой Cu^{2+} , и флуктуациями среднего расхода воды в створе.

Вращения факторных осей привело к сильному перераспределению дисперсии и выявлению латентного фактора 1, который имеет прямую связь между варьированием $V_{\text{заг}}\%$ стока

воды, загрязнённой Mn^{2+} , УКИЗВ и наибольшими расходами воды в створе. В факторе 2 после вращения четко проявляется положительная связь между наименьшими и средними расходами воды и с $V_{\text{заг}}\%$ стока воды, загрязнённой Pb^{2+} , а также отрицательная с $V_{\text{заг}}\%$ стока воды, загрязнённой Cu^{2+} .

Следует отметить, что в факторе 3, доля дисперсии которого значительна (более 16%) просматривается отрицательная связь между температурой воды холодного периода с $V_{\text{заг}}\%$ стока воды с насыщением кислородом и его содержанием ниже нормы, а также с $V_{\text{заг}}\%$ стока воды, загрязнённой $\text{Fe}_{\text{общ}}$, и положительная – с объёмами стока воды, загрязнённой нефтепродуктами.

По численным значениям первых двух главных факторов было произведено группирование случаев (годов) (Рисунок 7).

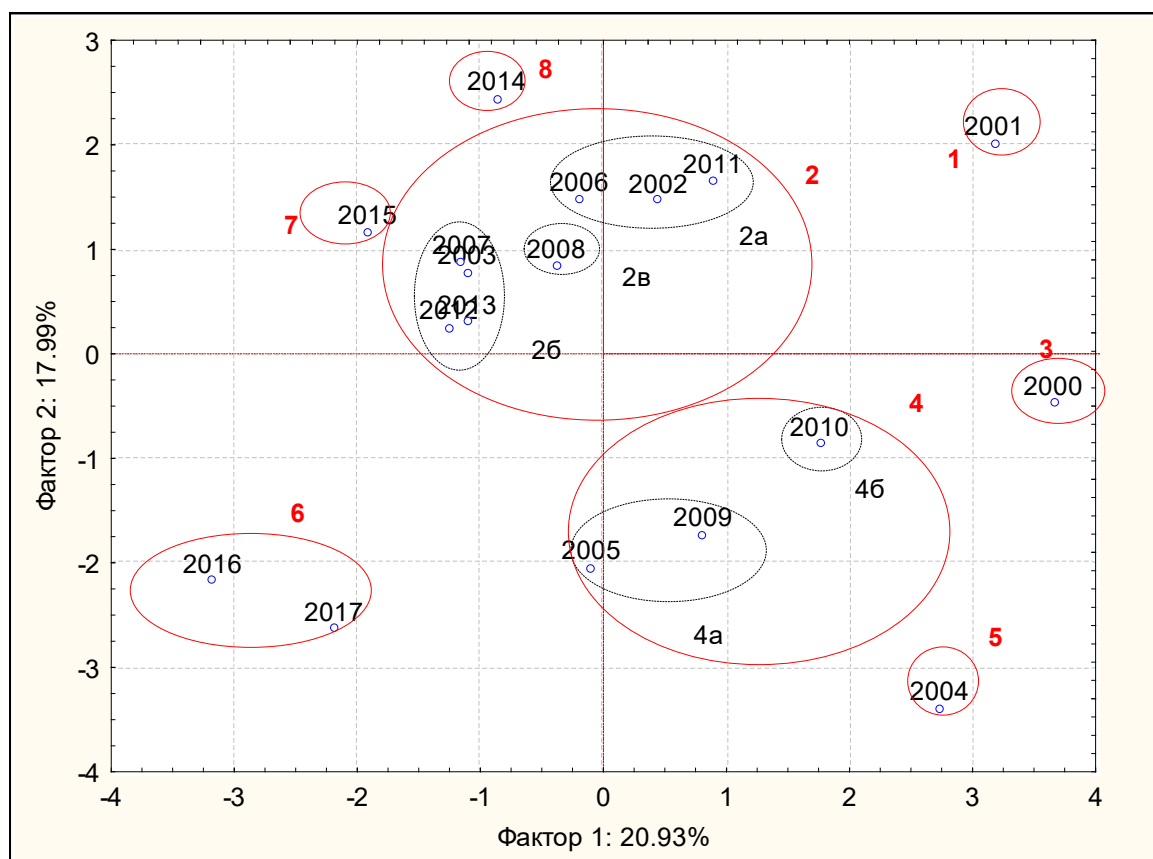


Рисунок 7. Проекция случаев (годов) в створе реки Луги – п.г.т. Толмачёво в 2000–2017 годах в координатах главных факторов, определяющих межгодовое варьирование относительных объёмов стока воды, загрязнённой единичными химическими компонентами.

Figure 7. Projection of cases (years) in the section of the Luga River, urban-type settlement Tolmachevo in 2000–2017 in the coordinates of the main factors that determine the interannual variation in the relative volumes of runoff of water contaminated with single chemical components.

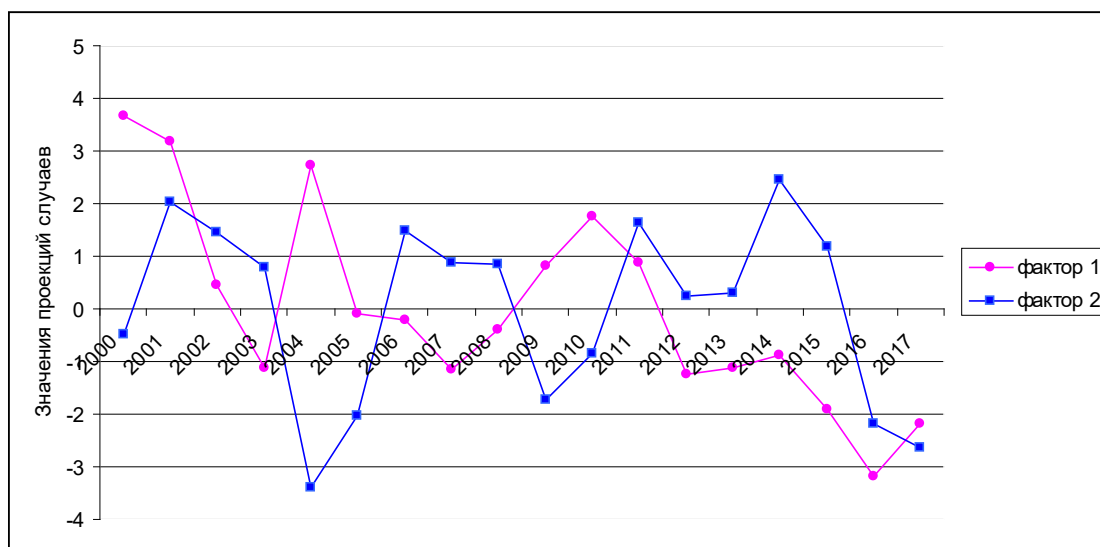


Рисунок 8. Изменение значений проекций случаев на координаты двух главных факторов в створе реки Луги – п.г.т. Толмачёво в 2000–2017 годах (график динамики главных факторов).

Figure 8. Changing the values of the projections of cases on the coordinates of the two main factors in the alignment of the Luga River, urban-type settlement Tolmachevo in 2000–2017 (graph of the main factors dynamics).

На рисунках 7 и 8 хорошо видно, что максимальные значения фактора 1 наблюдались в 2000, 2001, 2004 и 2010 годах. Отмечается также тенденция снижения влияния фактора на многолетнее варьирование качества стока. Если принять наше предположение о механизме процесса, то доля влияния в формирование стока в изучаемом створе реки Луги снижается и соответственно увеличивается влияние реки Оредеж. Этот факт подтверждается тенденцией увеличения относительных объёмов стока воды с насыщением кислородом ниже нормы, принятого за маркер влияния реки Оредеж (рисунок 6В).

В период с 2000 по 2014 год оба фактора находились в противофазах и поддерживали постоянно высокую загрязнённость воды, проходящей через створ. Исключением явился период с 2014 по 2017 год, когда оба фактора выходят из противофазы и способствуют снижению загрязнённости воды. К сожалению, построенная гипотеза не может быть подтверждена фактическим материалом, так как нет необходимых наблюдений по расходам воды реки Оредеж.

Выводы

1. Применение характеристик, разработанных в ФГБУ «ГГИ», (относительных объёмов стока воды, загрязнённой совокупностью химических компонентов, и долей объёмов стока воды, загрязнённой единичными химическими компонентами) для изучения факторов, формирующих межгодовую изменчивость качества водного стока, показало хорошую информативность.

2. С учётом относительных объёмов загрязнённого стока воды, различающихся по совокупности загрязняющих веществ, и в соответствии с РД 52.24.643-2002 сделаны среднегодовые оценки загрязнённости стока. Вода в стоке через створ реки Луги – п.г.т. Толмачёво 11 лет была «очень загрязнённой», два года (2006 и 2010) – «грязной», в 2003, 2005 и 2015 годах – «загрязнённой», и только в 2016 и 2017 годах – «слабо загрязнённой».

3. По относительным объёмам стока воды, загрязнённой единичными химическими компонентами, выделены четыре компонента Mn^{2+} , $Fe_{общ}$, ХПК и Cu^{2+} , которые загрязняли весь или большую часть объёма стока воды ежегодно. В изучаемый период отмечены тенденции

уменьшения относительных объемов стока воды, загрязнённой свинцом и нефтепродуктами, и тенденции увеличения относительных объемов стока воды с насыщением кислородом ниже 70% (ниже ПДК), а также до 2014 года загрязнённой нитритами. Доли стока воды, загрязнённой нитритами и особенно Mn^{2+} , показали резкое снижение в 2015–2017 годах.

4. С помощью факторного анализа показано, что на межгодовое варьирование относительных объемов, наиболее загрязнённых долей стока (3 класса разряд «б» и 4 класса разряд «а»), и соответственно УКИЗВ годового стока воды оказывает влияние фактор 1, составляющий почти 33% суммарной дисперсии. При этом наблюдается прямая связь варьирования указанных характеристик с величиной межгодовых флуктуаций наибольших расходов воды. Фактор 2 составляет 22% суммарной дисперсии. Он демонстрирует обратную связь между варьированием УКИЗВ долей объемов воды 3 класса разряда «а» и варьированием средних и наименьших расходов воды.

5. На доли объема воды, загрязнённой единичными компонентами, влияет фактор 1 (21%). Он имеет отрицательную связь с $V_{\text{заг}}\%$ воды, насыщение кислорода в которой ниже ПДК. Это, возможно, может служить маркером вклада

реки Оредеж в формирование стока в створе п.г.т. Толмачёво из-за высокой доли её питания грунтовыми водами. Учитывая то, что связь с маркером отрицательная, сделан вывод, что это доля влияния реки Луги. Отмечается тенденция снижения влияния фактора 1 на многолетнее варьирование качества стока, то есть доля влияния реки Луги снижается и соответственно увеличивается влияние реки Оредеж.

Фактор 2 составил почти 18% суммарной дисперсии и показал обратную связь между варьированием $V_{\text{заг}}\%$ стока воды, загрязнённой Cu^{2+} , и флуктуациями средних расходов воды в створе. И в первом и во втором случаях главные факторы в течение всего изучаемого периода находились в противофазе и поддерживали высокую загрязнённость воды. Исключением явился период с 2014 по 2017 год, когда они выходят из противофазы и загрязнённость воды снижается.

6. Полученные результаты по влиянию основных факторов на формирование межгодовой изменчивости качества стока рекомендуется учитывать как ориентиры при разработке моделей управления водными объектами, в данном случае рекой Лугой в верхнем её течении.

Литература

Боч М.С., Мазинг В.В. Экосистемы болот СССР. Л.: Наука, 1979. 188 с.

Езерова Н.Н., Киреева М.Б., Фролова Н.Л. Паводочный сток и его роль в изменении современного водного режима рек Европейской территории России // Сборник трудов конференции «Вторые Виноградовские чтения «Искусство гидрологии» (г. Санкт-Петербург, 18-22 ноября 2015 г.). СПб: СПбГУ, 2018. С. 228–231.

Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши: в 15 т. Т. 1. РСФСР: в 26 Вып. 5. Бассейны рек Балтийского моря, Ладожского и Онежского озёр. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 689 с.

References

Boch M.S., Mazing V.V. *Ekosistemy bolot SSSR [Ecosystems of swamps of the USSR]*. Leningrad, Publ. Nauka, 1979. 188 p. (In Russian).

Drever J.I. *The geochemistry of natural waters*. Englewood Cliffs (N. J.): Prentice Hall, Cop. 1988. 437 p. (Russ. ed.: Driver D. *Geokhimiya prirodnikh vod*. Moscow, Mir Publ., 1985. 439 p).

Ezerova N.N., Kireeva M.B., Frolova N.L. Pavodochnyy stok i yego rol' v izmenenii sovremennogo vodnogo rezhima rek Yevropeyskoy territorii Rossii [Flood runoff and its role in changing the modern water regime of rivers in the European territory of Russia]. *Sbornik trudov konferentsii «Vtorye Vinogradovskie chteniya «Iskusstvo gidrologii» (g. Sankt-Peterburg, 18–22 noyabrya 2015) [Proceedings of the conference "The Second Vinogradov Readings" The Art of*

Дривер Д. Геохимия природных вод / Пер. с англ. Л.Н. Барабанова, Г.А. Соломина; под ред. С.И. Смирнова. М.: Мир, 1985. 440 с.

Иберла К. Факторный анализ / Пер. с нем. В.М. Ивановой. М.: Статистика, 1980. 398 с.

Иванов К.Е. Водообмен в болотных ландшафтах. Л.: Гидрометеоздат, 1975. 280 с.

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

Марголина И.Л. Геологическое обоснование рационализации природопользования для административного района (на примере Лужского района Ленинградской области). Дисс. канд. геогр. наук. М.: МГУ, 2002. 184 с.

Перехрест С.М., Печковская О.М. Значение торфоболотных гидрологических и ландшафтных (комплексных) заповедников для сохранения водоносности рек и экологических условий заболачивания территории Полесья // Охрана и рациональное использование природных ресурсов Украинской ССР. Материалы республиканского семинара (г. Киев, 24-25 сентября 1974 г.). Киев: Совет по изучению производит. сил УССР, 1974. С. 51–54.

Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность: в 20 т. Т. 2. Карелия и Северо-Запад. Л.: Гидрометеоздат, 1965. 699 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., Шмакова М.В. Использование автоматизированной технологии для расчётов характеристик качества стока по данным гидрохимических и гидрологических наблюдений // Гидросфера. Опасные процессы и

Hydrology "(St. Petersburg, November 18–22, 2015)]. St. Petersburg, Publ. of St. Petersburg State University, p. 228–231. (In Russian).

Gosudarstvennyi vodnyi cadstr. *Mnogoletnie dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod суши: v 15 t. T. 1. RSFSR: v 26 vyp. Vyp. 5. Basseiny rek Baltiiskogo morya, Ladozhskogo i Onezhskogo ozer* [Long-term data on the regime and resources of land surface water: in 15 volumes. Volume 1. RSFSR: in 26 issue. Issue 5. River basins of the Baltic Sea, Ladoga and Onega Lakes]. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1986. 689 p. (In Russian).

Ivanov K.E. *Vodoobmen v bolotnykh landshaftakh* [Water exchange in bog landscapes]. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1975. 280 p. (In Russian; abstract in English).

Karaushev A.V., Skakal'skii B.G. Problemy monitoringa kachestva poverkhnostnykh vod суши [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).

Margolina I.L. *Geologicheskoe obosnovanie ratsionalizatsii prirodopol'zovaniya dlya administrativnogo raiona (na primere Luzhskogo raiona Leningradskoi oblasti)*. Diss. kand. geogr. nauk. [Geological substantiation of rationalization of environmental management for the administrative region (on the example of the Luga district of the Leningrad region)]. Ph.D. (Geographic sciences) Thesis]. Moscow, 2002. 184 p. (In Russian).

Perekhrest S.M., Pechkovskaya O.M. Znachenie torfobolotnykh gidrologicheskikh i landshaftnykh (kompleksnykh) zapovednikov dlya sokhraneniya vodonosnosti rek i ekologicheskikh uslovii zabolachivaniya territorii Poles'ya [The importance of peat bog hydrological and landscape (complex) reserves for the preservation of river water flow and ecological conditions of swamping of the Polesie territory]. *Okhrana i ratsional'noe ispol'zovanie prirodnnykh resursov Ukrainskoi SSR. Materialy respublikanskogo seminara (g. Kiev, 24-25 sentyabrya 1974 g.)* [Protection and rational use of natural resources of the Ukrainian SSR. Materials

явления. 2020. Том 2. Вып. 3. С. 272–294.
DOI: [10.34753/HS.2020.2.3.272](https://doi.org/10.34753/HS.2020.2.3.272).

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.

of the republican seminar (Kiev, September 24-25, 1974). Kiev, 1974, pp. 51–54. (In Russian).

Resursy poverkhnostnykh vod SSSR: v 20 vol. Vol. 2: Kareliya i Severo-Zapad [Surface water resources of the USSR: in 20 vol. Vol. 2: Karelia and North-West]. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1965. 699 p. (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. Novyi podkhod k avtomatizirovannomu raschetu chastichnykh ob'emov rechnogo stoka raznoi stepeni zagryazneniya (na primere r. Selenga). *Meteorologiya i gidrologiya*, 2014, no. 6, pp. 51–60).

Rumyantseva E.A., Bobrovitskaya N.N., Shmakova M.V. Ispol'zovanie avtomatizirovannoi tekhnologii dlya raschetov kharakteristik kachestva stoka po dannym gidrokhimicheskikh i gidrologicheskikh nablyudenii [The use of automated technology to calculate the runoff quality characteristics according to hydrochemical and hydrological observations]. *Gidrosfera. Opisanye protsessy i yavleniya [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).

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.J. Moscow, MGU Publ. (UNESCO), 1980, pp. 98–112. (In Russian).

Überla K. *Faktorenanalyse*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1977. 400 p. (Russ. ed.: Überla K. *Faktorny analiz*. Moscow, Statistika Publ., 1980. 398 p).