

Научная статья

Original article

УДК 504.064

doi: https://doi.org/10.55186/2413046X_2026_11_7_102

edn: FDDKXG

**ОТНОШЕНИЕ ХПК К КОНЦЕНТРАЦИЯМ ВЗВЕШЕННЫХ
ВЕЩЕСТВ КАК ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ИНДИКАТОР
ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ
THE RATIO OF CHEMICAL OXYGEN DEMAND TO SUSPENDED
SOLIDS CONCENTRATION AS AN INTEGRATED INDICATOR OF
POLLUTION SOURCES IN SURFACE WATERS**



Кузнецов Егор Александрович, аспирант, Северный (Арктический) Федеральный Университет им. М.В. Ломоносова, Россия, 163002, город Архангельск, набережная Северной Двины, д. 17, E-mail: kuznetsov2302@yandex.ru

Kuznetsov Egor Alexandrovich, Graduate student, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 17 Severnaya Dvina Embankment, Arkhangelsk 163002, Russia, E-mail: kuznetsov2302@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена обоснованию применения интегрального параметра ХПК/ВВ в качестве вспомогательного экологического индикатора при оценке качества поверхностных вод в зонах сброса сточных вод различного происхождения. На основе анализа многолетних мониторинговых наблюдений на реках Северная Двина, Вычегда, Онега и Золотица, а также в дренажных стоках карьеров по добыче полезных ископаемых, выявлены характерные диапазоны изменчивости рассматриваемого параметра для различных источников загрязнения. Установлено, что параметр ХПК/ВВ

позволяет дифференцировать природное и антропогенное происхождение повышенных концентраций взвешенных веществ и органических соединений в речных водах. Показано, что при разбавлении сточных вод речными водами значение параметра на контрольном створе должно занимать промежуточное положение между его величинами на фоновом створе и в сбрасываемых стоках. Несоблюдение этого условия указывает на наличие дополнительных источников загрязнения. Предложено использовать параметр ХПК/ВВ как «арбитражный» показатель при разрешении конфликтных ситуаций между водопользователями и надзорными органами. Рекомендовано расширить применение данного параметра при мониторинге дренажных вод, образующихся при разработке месторождений полезных ископаемых, а также при контроле последствий дноуглубительных работ и дампинга грунта в устьевых областях рек.

Abstract. This study substantiates the use of the COD/TSS ratio-the ratio of chemical oxygen demand to the concentration of total suspended solids-as a supplementary environmental indicator for assessing surface water quality in areas affected by wastewater discharges of various origins. Based on an analysis of long-term monitoring data from the Northern Dvina, Vychegda, Onega, and Zolotitsa Rivers, as well as drainage effluents from mineral extraction quarries, characteristic ranges of variation in the COD/TSS ratio were identified for different pollution sources. The results demonstrate that this ratio can be used to differentiate between natural and anthropogenic causes of elevated concentrations of suspended solids and organic compounds in river waters. When wastewater is diluted by river water, the COD/TSS ratio at the downstream monitoring station should fall between the values recorded at the upstream background station and in the discharged effluent. Failure to meet this condition indicates the presence of additional pollution sources. The COD/TSS ratio is proposed as an “arbitration” indicator for resolving disputes between water users and environmental regulatory authorities. Its broader application is recommended for monitoring drainage waters

generated during mineral extraction, as well as for assessing the environmental impacts of dredging and dredged-material disposal in river estuaries.

Ключевые слова: ХПК, взвешенные вещества, параметр ХПК/ВВ, качество поверхностных вод, мониторинг, сточные воды, дренажные воды, маргинальный фильтр, экологический индикатор

Keywords: chemical oxygen demand, suspended solids, COD/TSS ratio, surface water quality, environmental monitoring, wastewater, drainage water, marginal filter, environmental indicator

Оценка качества поверхностных вод является одной из ключевых задач экологического мониторинга и управления водными ресурсами. Традиционный подход, основанный на сравнении концентраций загрязняющих веществ с предельно допустимыми концентрациями (ПДК), часто оказывается недостаточным для объективной оценки источников и причин загрязнения, особенно в условиях таёжной зоны России, где высокие концентрации органических веществ и взвешенных частиц могут формироваться как за счет природных процессов, так и антропогенного воздействия.

Показатели химического потребления кислорода (ХПК) и концентрации взвешенных веществ (ВВ) являются широко применяемыми параметрами при контроле качества сточных, промышленных и поверхностных вод [9 с. 345-367. 1, с. 343–352.]. Однако их интерпретация осложняется значительной пространственно-временной изменчивостью в речных системах северных территорий, где величины этих показателей могут отличаться на целый порядок в зависимости от сезона, гидрологических условий и влияния природных факторов. Выщелачивание органики из почвенно-растительного покрова, взмучивание донных отложений при высоких скоростях течений, ветровое волнение и эрозионные процессы в береговой зоне способны

создавать высокие концентрации ХПК и ВВ, сопоставимые с уровнями, наблюдаемыми в сточных водах.

Возникает необходимость в разработке дополнительных методических подходов, позволяющих дифференцировать природное и антропогенное происхождение загрязнений. Одним из перспективных инструментов является использование вспомогательного параметра ХПК/ВВ, который отражает качественный состав взвешенных веществ и органических соединений в водной среде. Данный параметр характеризует долю органических компонентов в общей массе взвеси и может служить индикатором источника загрязнения.

Методология исследования. Выбор методов определения ХПК и ВВ зависит от задач исследования, требуемой точности, регулярности измерений и доступных ресурсов. Наиболее надёжными остаются стандартизированные бихроматный метод определения ХПК [2, с. 287] и гравиметрический метод определения ВВ, тогда как ускоренные и фотометрические методы целесообразны для оперативного и регулярного контроля, включая автоматизированный анализ и исследование морской воды. При этом альтернативные методы определения ВВ требуют дальнейшей стандартизации, а нормативные значения показателя и учёт органических веществ - дополнительного научного обоснования.

При статистической обработке исследуемых величин использовались как стандартные характеристики, так и робастные (помехоустойчивые) параметры [3, с. 167-176.], рекомендуемые для анализа гидрологических и гидрохимических показателей. К стандартным характеристикам относились среднее значение ($\bar{C}$), среднеквадратичное отклонение (σ) и экстремальные значения ($C_{\min}$ и $C_{\max}$). Робастные статистики включали медиану (C_m) и квартили: нижний квартиль ($C_{0,25}$) и верхний квартиль ($C_{0,75}$). Межквартильный интервал, заключенный между верхним квартилем (75% точкой) и нижним квартилем (25% точкой), рассматривался как

статистическое «ядро» исследуемой выборки и интерпретировался как характерный диапазон изменчивости параметра ХПК/ВВ [11, с. 232-245]. Использование робастных статистик позволило сделать анализ более корректным при сравнении выборок данных различных объемов и обеспечило устойчивость результатов к влиянию экстремальных значений.

Для оценки связи между параметрами ХПК и ВВ рассчитывались коэффициенты линейной корреляции Пирсона. Анализ пространственной изменчивости параметра ХПК/ВВ проводился путем сравнения его значений на фоновых, контрольных створах и в точках сброса сточных вод.

Характеристика параметра ХПК/ВВ для различных источников загрязнения. Анализ мониторинговых данных позволил выявить существенные различия в значениях параметра ХПК/ВВ для различных типов водных объектов и источников загрязнения. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Статистические характеристики параметра ХПК/ВВ для различных водных объектов и источников загрязнения [7, с. 49-53]

Место отбора проб воды	Статистики							
	$C_{cp.}$	σ	C_m	$C_{0,25}$	$C_{0,75}$	$C_{мин.}$	$C_{макс.}$	N
<i>Гранитный карьер «Покровское» (октябрь 2023 г.)</i>								
Дренажная канава	0,12	0,05	0,14	0,11	0,15	0,07	0,16	3
<i>Район отвода стоков г. Архангельска в устье р.Северной Двины (1999г.-2001г.)</i>								
Фоновый створ	7,17	1,42	7,27	6,29	7,77	3,76	9,64	17
Стоки	5,83	3,93	4,99	3,45	7,00	1,61	17,35	17
Контрольный створ	4,19	1,66	3,73	2,88	4,81	2,10	7,63	17
<i>Район отвода стоков г. Новодвинска в устье р.Северной Двины (1999г.-2001г.)</i>								
Фоновый створ	7,03	3,14	6,24	5,49	8,74	2,65	15,00	16
Стоки	4,15	0,96	3,90	3,38	4,57	2,90	5,90	16
Контрольный створ	6,14	1,81	6,37	4,65	7,65	1,88	8,57	16
<i>Район отвода стоков г. Коржамы в р.Вычегду (1999г.-2001г.)</i>								
Фоновый створ	6,69	3,77	5,37	4,09	8,99	2,35	16,17	24
Стоки	8,49	3,21	8,61	6,63	10,21	3,35	15,06	24
Контрольный створ	5,41	3,23	3,94	3,30	5,84	2,46	13,09	24
<i>Район отвода стоков г. Сыктывкара в р.Вычегду (2000г.-2008г.)</i>								
Фоновый створ	4,36	2,35	3,80	2,89	5,39	0,77	10,05	26
Стоки	10,84	2,42	11,04	9,30	12,16	6,29	17,01	26
Контрольный створ	4,77	2,39	4,35	3,09	5,64	0,90	9,90	26

Полученные данные демонстрируют четкую дифференциацию значений параметра ХПК/ВВ в зависимости от типа источника загрязнения. Дренажные воды карьеров по добыче полезных ископаемых характеризуются минимальными значениями параметра (0,11–0,15), что обусловлено крайне низким содержанием органических веществ в подземных и дождевых водах, заполняющих карьеры, при одновременно высоких концентрациях минеральной взвеси. В противоположность этому, очищенные сточные воды городов, содержащие смесь коммунальных и промышленных стоков, демонстрируют значительно более высокие значения параметра (3,38–12,16), что отражает высокую долю органических компонентов во взвешенных веществах сточных вод [5, с.26-31].

Речные воды на фоновых створах, не подверженные прямому влиянию сточных вод, характеризуются промежуточными значениями параметра (3,80–7,27), что соответствует природному содержанию органических веществ в водах таежной зоны.

Применение параметра ХПК/ВВ для идентификации источников загрязнения. Ключевым условием применения параметра ХПК/ВВ является его промежуточное значение в контрольном створе, расположенном ниже точки сброса, по сравнению с фоновыми и сточными водами:

$$C(\text{фон}) < C(\text{контр}) < C(\text{стоки}).$$

По данным таблицы 1, это условие соблюдается в районах Новодвинска и Сыктывкара, что свидетельствует о преобладающем влиянии исследуемых сточных вод на качество воды в зоне разбавления. В районах Архангельска и Коряжмы значение ХПК/ВВ в контрольном створе выходит за указанный интервал, указывая на воздействие дополнительных источников загрязнения [7, с. 49–53].

В Архангельске аномалия обусловлена притоком реки Ижмы, которая вносит взвешенные вещества минерального происхождения и снижает ХПК/ВВ в контрольном створе. В Коряжме аналогичное влияние оказывают

реки Копытовка и Низовка. Их водосборы охватывают городские, дачные и промышленные территории, вследствие чего притоки обогащаются антропогенными взвесями и дренажными стоками. Дополнительное поступление взвешенных веществ также приводит к снижению ХПК/ВВ в контрольном створе.

Параметр ХПК/ВВ в зонах смешения речных и морских вод. Исследование изменчивости параметра ХПК/ВВ в устьевых областях рек показало его закономерное возрастание по мере увеличения солёности, что соответствует модели маргинального фильтра. Данные для устьев рек Онега и Северная Двина представлены в таблице 2.

Таблица 2. Статистические характеристики параметра ХПК/ВВ в зонах смешения речных и морских вод [6, с. 75-79]

Статистика	Устье р. Онеги (август 2022 г.)	Устье р. Северной Двины (март 2022 г.)
Среднее значение	1,6	5,4
Стандартное отклонение	0,9	3,1
Медиана	1,6	6,5
25 % точка	1,1	2,8
75 % точка	1,9	7,3

Более высокие значения параметра ХПК/ВВ в устье реки Северная Двина (протока Маймакса) объясняются влиянием сточных вод городов Архангельска и Новодвинска, обогащающих устьевые воды органическими веществами антропогенного происхождения. В устье реки Онеги, где промышленные и коммунальные стоки отводятся в Онежский залив, органика имеет преимущественно природное происхождение, что обуславливает более низкие значения параметра.

Механизм возрастания параметра ХПК/ВВ в зоне смешения речных и морских вод может быть объяснен следующим образом. По мере увеличения

солености происходит более интенсивная седиментация взвешенных частиц за счет коагуляции и флокуляции, особенно на гравитационной ступени маргинального фильтра (диапазон солености менее 5‰) [10, с. 169-200]. Растворимые органические вещества, напротив, не подвергаются седиментации и удаляются из системы только путем турбулентного разбавления. Кроме того, при контакте пресных и соленых вод часть растворимых органических соединений может переходить во взвешенное состояние, что также способствует возрастанию параметра ХПК/ВВ.

Параметр ХПК/ВВ при мониторинге дренажных вод месторождений полезных ископаемых. Особую ценность параметр ХПК/ВВ приобретает при контроле дренажных вод, образующихся при разработке месторождений полезных ископаемых [4, с. 189-192. 6, с. 75-79]. На примере реки Золотица, где ведется добыча алмазов на месторождении им. М.В. Ломоносова, выявлены значительные различия в значениях параметра между фоновым и контрольным створами (табл. 3).

Таблица 3. Статистические характеристики параметра ХПК/ВВ в реке Золотица в различные сезоны [4, с.189-192]

Статистики	Сезоны			
	Зима	Весна	Лето	Осень
Створ 156 км выше устья реки (фоновый створ)				
Среднее значение	86,18	19,59	26,85	32,26
Стандартное отклонение	91,00	22,92	38,96	34,45
Медиана	71,83	9,63	4,35	15,92
Нижний квартиль (25 %)	37,52	6,51	4,35	12,47
Верхний квартиль (75 %)	127,67	22,71	38,09	43,88
Створ 152 км выше устья реки (контрольный створ)				
Среднее значение	7,63	13,92	3,14	12,11
Стандартное отклонение	7,07	16,89	0,60	16,52
Медиана	6,69	6,43	3,14	12,11

Нижний квартиль (25 %)	1,96	5,75	2,93	6,27
Верхний квартиль (75 %)	12,50	14,42	3,35	17,95

Резкое снижение параметра ХПК/ВВ на контрольном створе по сравнению с фоновым створом указывает на формирование доминанты минеральной взвеси в результате сброса дренажных вод, обогащенных сапонитом. Однако это снижение не сопровождается возрастанием абсолютных концентраций взвешенных веществ выше фонового уровня, что объясняется очень низким содержанием органических веществ в дренажных водах карьеров. При их сбросе они разбавляют речные воды, обогащенные органикой природного происхождения, приводя к снижению параметра ХПК/ВВ без увеличения общей мутности речных вод.

Идентичность сезонных изменений параметра ХПК/ВВ на фоновом и контрольном створах свидетельствует о том, что наблюдаемые колебания связаны в первую очередь с изменениями речного стока, а не с техногенным влиянием. Это позволяет использовать параметр ХПК/ВВ для выявления качественных изменений в составе взвешенных веществ, которые не всегда проявляются в изменениях их абсолютных концентраций.

Чувствительность параметра ХПК/ВВ как экологического индикатора. Анализ динамики параметра ХПК/ВВ в Финском заливе за период 2010–2023 гг. демонстрирует высокую чувствительность этого показателя к изменениям в качестве воды. Значения параметра варьировались в диапазоне от 5,91 до 19,79 мгО₂/мг, что составляет 57,71–193,26% от начального значения 2010 года. Такой размах вариации (более чем в три раза) существенно превышает вариацию отдельных параметров ХПК и ВВ, что указывает на более высокую чувствительность интегрального показателя.

Таблица 4 – Вариабельность показателей ХПК, ВВ и параметра ХПК/ВВ в Финском заливе [8, с. 231–236]

Год	ВВ, мг/л	ХПК, мгО ₂ /л	ХПК/ВВ	ВВ, % от значения 2010 года	ХПК, % от значения 2010 года	ХПК/ВВ, % от значения 2010 года
2010	2,10	21,50	10,24	100,00	100,00	100,00
2011	2,00	24,80	12,40	95,24	115,35	121,09
2012	1,80	26,10	14,50	85,71	121,40	141,60
2013	3,10	29,10	9,39	147,62	135,35	91,70
2014	3,20	29,55	9,23	152,38	137,44	90,14
2015	2,60	21,20	8,15	123,81	98,60	79,59
2016	1,99	23,00	11,56	94,76	106,98	112,89
2017	2,50	18,30	7,32	119,05	85,12	71,48
2018	2,40	16,80	7,00	114,29	78,14	68,36
2019	1,60	18,60	11,63	76,19	86,51	113,57
2020	3,50	20,70	5,91	166,67	96,28	57,71
2021	2,20	22,50	10,23	104,76	104,65	99,90
2022	1,40	27,70	19,79	66,67	128,84	193,26
2023	3,11	30,00	9,65	148,10	139,53	94,24

Полученные результаты свидетельствуют о том, что параметр ХПК/ВВ является более информативным показателем качества воды, чем каждый из входящих в него компонентов в отдельности. Высокая чувствительность параметра требует тщательного анализа и интерпретации данных мониторинга, но одновременно обеспечивает более точное выявление изменений в составе загрязняющих веществ.

Практическое применение параметра ХПК/ВВ. На основе проведенных исследований предложены следующие рекомендации по применению параметра ХПК/ВВ в экологическом мониторинге:

1. При превышении ПДК по взвешенным веществам или ХПК следует рассчитывать параметр ХПК/ВВ для установления природного или антропогенного происхождения загрязнения.
2. На контрольном створе водотока значение ХПК/ВВ должно находиться между значениями фонового створа и сточных вод. Выход за этот диапазон

свидетельствует о возможном наличии дополнительных источников загрязнения.

3. При экологическом контроле карьеров необходимо определять содержание взвешенных веществ и ХПК, особенно на территориях с богатым гумусовыми веществами почвенно-растительным покровом и значительным поступлением природных органических взвесей в водотоки.

4. При дноуглубительных работах и дампинге грунта в устьях рек возможно появление локального минимума на графике зависимости ХПК/ВВ от солёности вследствие увеличения доли минеральных частиц во взвеси.

Заключение. Проведенные исследования подтверждают высокую информативность параметра ХПК/ВВ как вспомогательного индикатора качества поверхностных вод. Он позволяет дифференцировать природное и антропогенное происхождение повышенных концентраций взвешенных веществ и органических соединений, что особенно актуально для таежной зоны.

Установленные диапазоны ХПК/ВВ для дренажных вод карьеров (0,11–0,15), сточных вод (3,38–12,16) и речных вод (3,80–7,27) позволяют использовать показатель для объективной оценки источников загрязнения. Промежуточное положение его значений на контрольном створе относительно фонового створа и сточных вод характеризует влияние сброса, а отклонение от этой закономерности может свидетельствовать о наличии дополнительных источников загрязнения. Высокая чувствительность ХПК/ВВ к изменению состава примесей делает его перспективным инструментом долгосрочного мониторинга водных экосистем.

Рекомендуется применять параметр ХПК/ВВ при экологическом контроле предприятий целлюлозно-бумажной промышленности, мониторинге дренажных вод месторождений и оценке последствий гидротехнических работ в устьях рек. Дальнейшие исследования должны быть направлены на уточнение характерных диапазонов показателя для

различных типов месторождений, изучение его сезонной и гидрологической изменчивости, а также разработку методических рекомендаций для системы государственного экологического мониторинга.

Список литературы

1. Боголицын К.Г., Москалюк Е.А., Костогоров Н.М., Шульгина Е.В., Иванченко Н.Л. Применение интегральных показателей качества сточных вод для внутрипроизводственного эколого-аналитического контроля производства целлюлозы // Химия растительного сырья. 2021. № 2. С. 343–352.
2. Лурье, Ю. Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод / Ю. Ю. Лурье. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1979. – 448 с.
3. Микулинская С.М., Рожков В.А. Обработка малых выборок // Режимообразующие факторы, информационная база и методы ее анализа. Л.: Гидрометеиздат, 1989. С. 167-176
4. Мискевич И. В., Кузнецов Е. А. Характеристика сезонной изменчивости содержания взвеси в речных водах беломорско-кулойского плато. Естественные и технические науки № 2 (165) – 2022 с.189-192.
5. Мискевич И.В., Кузнецов Е.А. Оценка изменчивости отношения параметра ХПК к концентрациям взвешенных веществ (параметра ХПК/ВВ) в дельте реки Северная Двина при сбросе сточных вод // Вода: химия и экология. № 4. 2023. С.26-31.
6. Мискевич, И. В. Использование отношения химического потребления кислорода к концентрациям взвешенных веществ (параметра ХПК/ВВ) в геоэкологических исследованиях водных объектов европейского севера / И. В. Мискевич, О. П. Нецветаева, Е. А. Кузнецов // Успехи современного естествознания. – 2022. – № 12. – С. 75-79.
7. Мискевич, И. В. Характеристика изменчивости отношения показателя ХПК к концентрациям взвешенных веществ (параметра ХПК/ВВ) в водных объектах при сбросе сточных вод / И. В. Мискевич, Е. А. Кузнецов // Астраханский вестник экологического образования. – 2024. – № 1(79). – С. 49-53.

8. Стрелков, Р. Е. Моделирование динамики ХПК и БПК в Финском заливе на основе метода дерева решений / Р. Е. Стрелков, А. И. Лукьянчук // Современная российская наука: актуальные вопросы, достижения и инновации : сб. ст. XI Всерос. науч.-практ. конф., Пенза, 05 дек. 2025 г. Пенза : Наука и Просвещение, 2025. С. 231–236.
9. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. III. Автоматизация, стандартизация, экономика и охрана окружающей среды в ИБП. Ч. 2. Охрана окружающей среды и охрана труда в ЦБП. СПб.: Политехника, 2010. 487 с.
10. Шевченко В.П., Филиппов А.С., Новигатский А.Н., Гордеев В.В., Горюнова Н.В., Демина Л.Л. Рассеянное осадочное вещество пресноводных и морских льдов // Система Белого моря. Т. II. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера / Отв. ред. Лисицын А.П., ред. Немировская И.А. М.: Научный мир, 2012. С. 169–200.
11. Шуленин, В. П. Математическая статистика. Ч. 3: Робастная статистика. Томск: Изд-во НТЛ, 2012. 520 с.

References

1. Bogolitsyn, K. G., Moskalyuk, E. A., Kostogorov, N. M., Shulgina, E. V., & Ivanchenko, N. L. Application of integral wastewater quality indicators for in-process environmental and analytical control of pulp production. Chemistry of Plant Raw Material, 2021, no. 2, pp. 343–352.
2. Lurie, Yu. Yu. Analytical chemistry of industrial wastewater. 2nd ed., revised and enlarged. Moscow: Khimiya, 1979. 448 p.
3. Mikulinskaya, S. M., & Rozhkov, V. A. Processing of small samples. In: Regime-forming factors, information base, and methods of its analysis. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1989, pp. 167–176.
4. Miskevich, I. V., & Kuznetsov, E. A. Seasonal variability of suspended matter content in the river waters of the White Sea–Kuloi Plateau. Natural and Technical Sciences, 2022, no. 2 (165), pp. 189–192.

5. Miskevich, I. V., & Kuznetsov, E. A. Assessment of variability in the ratio of COD to suspended solids concentrations (COD/SS parameter) in the Northern Dvina River delta under wastewater discharge conditions. *Water: Chemistry and Ecology*, 2023, no. 4, pp. 26–31.
6. Miskevich, I. V., Netsvetaeva, O. P., & Kuznetsov, E. A. Use of the ratio of chemical oxygen demand to suspended solids concentrations (COD/SS parameter) in geoecological studies of water bodies in the European North. *Advances in Current Natural Sciences*, 2022, no. 12, pp. 75–79.
7. Miskevich, I. V., & Kuznetsov, E. A. Variability of the ratio of COD to suspended solids concentrations (COD/SS parameter) in water bodies under wastewater discharge conditions. *Astrakhan Bulletin of Environmental Education*, 2024, no. 1 (79), pp. 49–53.
8. Strelkov, R. E., & Lukyanchuk, A. I. Modeling COD and BOD dynamics in the Gulf of Finland using the decision-tree method. In: *Modern Russian science: Current issues, achievements, and innovations. Proceedings of the 11th All-Russian Scientific and Practical Conference*, Penza, December 5, 2025. Penza: Nauka i Prosveshchenie, 2025, pp. 231–236.
9. Pulp and paper production technology: In 3 volumes. Vol. III. Automation, standardization, economics, and environmental protection in the pulp and paper industry. Part 2. Environmental protection and occupational safety in the pulp and paper industry. St. Petersburg: Politekhnika, 2010. 487 p.
10. Shevchenko, V. P., Filippov, A. S., Novigatsky, A. N., Gordeev, V. V., Goryunova, N. V., & Demina, L. L. Dispersed sedimentary matter in freshwater and sea ice. In: Lisitsyn, A. P., & Nemirovskaya, I. A. (eds.). *The White Sea system*. Vol. II. The water column and its interactions with the atmosphere, cryosphere, river runoff, and biosphere. Moscow: Nauchnyi Mir, 2012, pp. 169–200.
11. Shulenin, V. P. *Mathematical statistics. Part 3: Robust statistics*. Tomsk: NTL Publishing House, 2012. 520 p.

© Кузнецов Е.А., 2026. *Московский экономический журнал*, 2026, № 7.