

А.И. Шишкин, М.С. Строганова

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОИЗМЕРИМОСТИ
КАЧЕСТВА СБРАСЫВАЕМЫХ ОЧИЩЕННЫХ СТОКОВ ЦБП
С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ
ПРИРОДОЁМКОСТИ ПРОИЗВОДСТВА**

Введение. В данном исследовании ставилась цель идентификации показателей соизмеримости качества сбрасываемых щелочосодержащих стоков после очистки и без очистки, в случае нештатной ситуации, с технологическими параметрами природоёмкости производства. При определении показателей соизмеримости качества стоков целлюлозного завода, следует учитывать процессы трансформации загрязняющих веществ при сбросе в водный объект от водовыпуска до контрольного створа [Шишкин, др., 2019; Stroganova, 2020].

Достижение поставленной цели осуществлялось в три этапа:

1. Проведена имитация разбавления очищенных и неочищенных сточных вод природной водой из фонового створа Ладожского озера (1500 м от места сброса) в 2, 3, 5, 10 и 20 раз, оценено качество сбрасываемой сточной воды после очистки и без очистки, а также в контрольном створе (500 м от сброса).

2. Расчетным путем определены кратности разбавления в пяти точках от патрубков водовыпуска до контрольного створа для отдельных веществ с учетом конструкции рассеивающего водовыпуска.

3. Рассчитаны коэффициенты биохимического окисления k_1 щелочосодержащих сточных вод по пяти показателям – БПК₅, ХПК, лигнин сульфатный, фенолы, метанол.

Исследования проводились на примере стоков целлюлозного производства в августе–сентябре 2020 года.

Каждая группа органических соединений характеризуется своей скоростью трансформации, что находит отражение в показателе неконсервативности примеси и коэффициенте биохимического окисления, присутствующих в каждой модели трансформации веществ [Дружинин и др., 1989]. Состав промежуточных веществ, образующихся при трансформации, и скорость их превращений зависят от характеристик веществ и режима водного объекта.

Для соизмерения показателей сточных вод с технологическими параметрами производства определен перечень репрезентативных показателей

контроля и методы расчета превращения веществ для задач нормирования сброса загрязняющих веществ со сточной водой.

В качестве репрезентативных показателей сульфат-целлюлозного производства без процессов отбелики приняты следующие показатели – БПК₅, ХПК, лигнин сульфатный, формальдегид, метанол, отражающие органическую часть стоков, взвешенные вещества, аммоний-ион, нитрит-ионы, нитрат-ионы, фосфат-ионы [Шишкин и др., 2020].

С учетом специальных исследований показано, что наибольший вклад в комплексный показатель ХПК вносят лигнинные вещества (примерно 55%), летучие органические вещества (около 20%), нейтральные вещества (11%), окисленные кислоты (7%), нелетучие фенолы (около 5%), неокисленные кислоты (2%). На рис. 1 представлена диаграмма соотношения трудноокисляемых соединений, входящих в состав показателя ХПК щелочесодержащих сточных вод целлюлозного завода [Гусакова и др., 2015].

Суммарный «органический» ХПК при прохождении через биологическую очистку снижается примерно в 5 раз, ХПК летучих компонентов – более чем в 10 раз, что значительно уменьшает природоёмкость производства и положительно влияет на водную экосистему. Результаты модельного разбавления, проведенного авторами в ходе работы, показало, что биоокислению подвергаются не все органические компоненты, содержащиеся в сточных водах [Боголицын и др., 2010, Личутина и др., 2011].



Рис. 1. Диаграмма трудноокисляемых соединений, входящих в состав показателя ХПК щелочесодержащих сточных вод целлюлозного завода [Гусакова, 2015]

Fig. 1. Diagram of hardoxidized compounds that are part of the COD indicator of alkaline-containing wastewater of the Pulp Mill [Gusakova, 2015]

Методы и материалы. Использовались методы лабораторного гидрохимического анализа – метод йодометрического титрования (растворенный кислород и БПК₅), спектральные методы (аммоний-ионы, нитрит-ионы, нитрат-ионы, лигнин сульфатный, сульфат-ионы, фосфат-ионы, метанол, фенолы), методы титрования – ХПК, физико-химические методы (рН).

При проведении анализа на БПК подобраны коэффициенты разбавления согласно методике (ПНДФ 14.1:2:3:4.123-97) для определения количественной характеристики показателя, для очищенных стоков коэффициент разбавления равен 2,4; неочищенные стоки были разбавлены в 32 раза.

При помощи мультипараметрических зондов CTD90M Sea & Sun Technology и RBRconcertoC.T.D.DO.PAR|fast6 в водоёме измерены такие показатели, как хлорофилл, удельная электропроводность, растворенный кислород, температура, мутность и плотность воды.

Результаты исследования. Анализ проб очищенных и неочищенных стоков с их разбавлением природной водой в соотношениях 1:2, 1:3, 1:5, 1:10 и 1:20 позволил в лабораторных условиях определить следующие показатели – растворенный кислород, БПК₅, ХПК, ионы аммония, нитрит-ионы, нитрат-ионы, метанол, фенолы, сульфат-ионы, фосфат-ионы, взвешенные вещества, сухой остаток.

По экспериментальным данным лабораторного анализа расчетным путем были определены коэффициенты биохимического окисления k_1 для обоснованных показателей по следующей зависимости [Базякина, 1933; Camp, 1963]:

$$k_1 = \frac{1}{t} \lg \left(\frac{C_t}{C_{2t} - C_t} \right), \quad (1)$$

где C_{2t} , C_t – соответственно потребление кислорода (по опытным данным) за время $2t$ и t .

Результаты расчета k_1 для органических веществ, выраженных в показателях БПК₅, ХПК, лигнин сульфатный, фенолы и метанол, представлены в таблице 1.

Скорости биохимического окисления определяются для каждого показателя. Для легкоокисляемых соединений, выраженных в БПК₅, скорость окисления ниже, соответственно процесс проходит быстрее, для очищенной воды – 2,3 сут⁻¹, для неочищенной воды – 14,1 сут⁻¹. На основе проведенных исследований следует отметить, что фенолы, метанол, ХПК, лигнин сульфатный, которые сложнее поддаются окислению, следует отнести к трудноокисляемым органическим веществам [Hewitt, 1979]. При этом скорость их трансформации в водоёме значительно выше при условии сброса неочищенных стоков [Вавилин, 1975].

Таблица 1

**Коэффициенты биохимического окисления органического вещества
в летний период, август 2020**

**Coefficients of biochemical oxidation of organic matter
in summer time, August 2020**

Показатель	Значение k_1 очищенной воды, сут ⁻¹	Значение k_1 неочищенной воды, сут ⁻¹
БПК ₅	2,3	14,1
ХПК	11,4	14,8
Лигнин сульфатный	1,8	19,6
Фенолы	3,8	7,7
Метанол	3,6	21,9

Выполнены исследования трансформации специфических для ЦБП сульфатной варки загрязняющих веществ и определены кратности разбавления очищенных и неочищенных сточных вод природной сточных в 2, 3, 5, 10 и 20 раз (табл. 2, 3; рис. 2, 3). С целью оценки скорости трансформации вещества в водоёме и соответственно для снижения технологической природоёмкости производства проведено сравнение с экологическими нормативами – ПДК_{р/х} по каждому веществу.

Уникальность рассмотренных задач связана с тем, что работа проведена для условий глубинного рассеивающего водовыпуска, при которых учитывается эффект струйного и общего разбавления.

В неразбавленной пробе очищенной сточной воды концентрации таких показателей, как ХПК, сульфат-ионы, взвешенные вещества, лигнин сульфатный, БПК₅, метанол, ионы-аммония, фосфат-ионы имеют высокие значения (рис. 2). При разбавлении сточной воды природной водой в соотношении 1:2 БПК₅ снижается в 1,7 раз; 1:3 – в 2 раза; при 1:5, 1:10 и 1:20 концентрация снижается в 8,25 раз. При разбавлении сточной воды природной водой в соотношении 1:2 ХПК снижается в 1,09 раз; при 1:3 – в 1,3 раза; при разбавлении в соотношении 1:5, 1:10 и 1:20 – в 2,57 раз. При разбавлении сточной воды природной водой в соотношении 1:2 – в 3,7 раз; при 1:3 – в 4,6 раза; при 1:5, 1:10 и 1:20 – в 12,7 раз.

Таблица 2

**Результаты моделирования разбавления очищенной сточной воды
целлюлозного завода природной водой**

**Modeling results of dilution of treated wastewater of a pulp mill
with natural water**

Показатель	$C_{\text{Фон}} / \text{ПДК}_{\text{р/х}}$	$C_{\text{ст}}$	1:2	1:3	1:5	1:10	1:20	$C_{\text{к.с}}$	$C_{\text{к.с}} / \text{ПДК}_{\text{р/х}}$	$n_{\text{к.с}}$
растворенный кислород, мг/л	1,8	–	7,3	7,5	8,3	9,1	10,5	11,4		
БПК ₅ , мг/л	0,7	3,3	1,9	1,6	0,9	0,4	0,3	0,1	1,0	3
ХПК, мг/л	0,67	90	82	69	53	41	35	26	1,7	5
взвешенные вещества, мг/л	1	14	6,6	5,9	4,6	2,1	1,1	1,0	1,8	13
лигнин сульфатный, мг/л	0,95	12	7,8	6,5	6,4	/ 3,2	1,9	1,9	2,6	3
сульфат-ионы, мг/л	0,18	97	42	26	19	13	12	21,0	0,2	28
фенолы, мг/л	1	0,002	0,001	0,001	0,001	0,0007	0,0007	0,002	1,5	2
ионы аммония, мг/л	0,02	1,3	0,4	0,3	0,22	0,14	0,08	0,02	0,04	129
фосфат-ионы, мг/л	0,05	0,78	0,28	0,24	0,21	0,13	0,07	*0,04	0,2	26
сухой остаток, мг/л	0,08	342	180	130	115	93	50	80	0,08	53
метанол, мг/л	0,1	0,18	0,08	0,06	0,03	0,02	0,01	0,01	0,4	6

$C_{\text{к.с}}$ – концентрация контролируемого вещества в контрольном створе; $C_{\text{ст}}$ – начальная концентрация контролируемого вещества в очищенной неразбавленной сточной воде; $\text{ПДК}_{\text{р/х}}$ – предельно-допустимая концентрация водоёмов рыбохозяйственного назначения.

Проведено сравнение натуральных данных с модельными данными в месте водовыпуска очищенных сточных вод при различных соотношениях кратностей разбавления для показателей БПК₅, взвешенные вещества, лигнин сульфатный, фосфат-ионы и метанол, которое приведено на рис. 2.

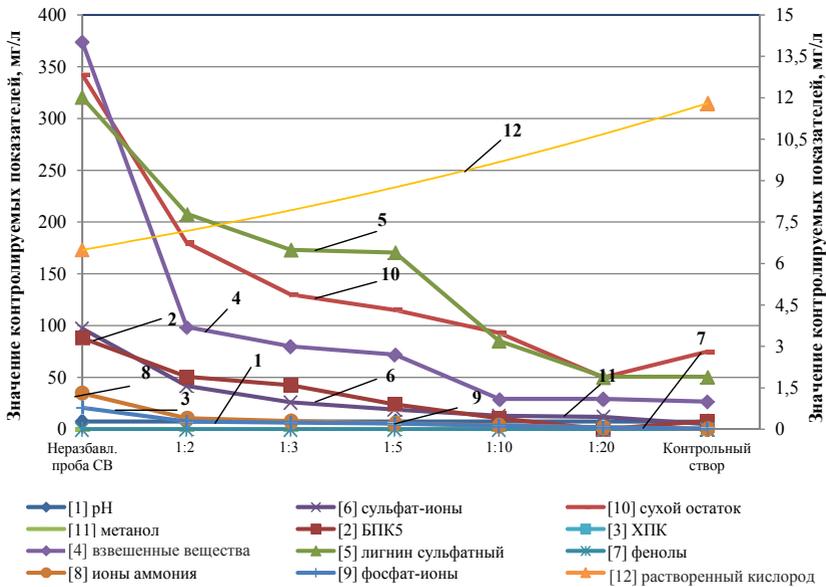


Рис. 2. Модельное разбавление загрязняющих соединений очищенной сточной воды природной водой в 2, 3, 5, 10 и 20 раз
 Fig. 2. Model dilution of polluting compounds of treated wastewater with natural water by 2, 3, 5, 10 and 20 times

Лигнин сульфатный и взвешенные вещества при модельном исследовании значительно отличаются от натуральных при разбавлении 1:2, 1:3, 1:4 – в 5 раз и в 2 раза соответственно, что связано со спецификой процессов окисления этих соединений в природных условиях с учетом процессов разбавления в больших водных массах исследуемого водоёма, нежели при лабораторном исследовании. При больших разбавлениях водой – 1:10 и 1:20, а соответственно при большем отдалении от точки сброса, значения показателей нивелируются, выравниваются.

Проведено модельное разбавление загрязняющих соединений неочищенной сточной воды природной водой в 2, 3, 5, 10 и 20 раз (рис. 3).

Получено, что скорость трансформации органических веществ, выраженных в показателях БПК₅, ХПК, лигнин сульфатный, фенолы, метанол, при сбросе в природный водоём неочищенных стоков почти в 7 раз выше, чем очищенных, за счет совместного эффекта окисления и разбавления,

Таблица 3

**Результаты моделирования разбавления неочищенной сточной воды
целлюлозного завода природной водой**

**Modeling results of dilution of untreated wastewater of a pulp mill
with natural water**

Показатель	Фон	$C_{ст}$	1:2	1:3	1:5	1:10	1:20	$C_{к.с}$	$\frac{C_{к.с}}{ПДК}$	$n_{к.с}$
растворенный кислород, мг/л	1,8	–	7,3	7,5	8,3	9,1	10,5	11,4	1,9	
БПК ₅ , мг/л	0,7	135	74,5	49,4	29,1	13,3	7,5	2,04	1,02	209
ХПК, мг/л	0,67	288	179	128	105	52	34	26	1,7	17
взвешенные вещества, мг/л	1	47	34	32	15	10	4,4	2,25	1,8	46
лигнин сульфатный, мг/л	0,95	39	14	11	7,9	5,1	3,5	1,9	2,6	12
сульфат-ионы, мг/л	0,18	44	34	30	21	17	13	21,0	0,3	9
фенолы, мг/л	1	0,6	0,32	0,27	0,23	0,09	0,04	0,002	1,5	198
ионы аммония, мг/л	0,02	2	0,81	0,56	0,37	0,3	0,2	0,02	0,04	199
фосфат-ионы, мг/л	0,05	1,3	0,51	0,37	0,27	0,15	0,08	0,04	0,2	43
сухой остаток, мг/л	0,08	630	380	252	146	104	72	80	0,08	111
метанол, мг/л	0,1	79	32	25	14	7	3	0,04	0,4	233

$C_{к.с}$ – концентрация контролируемого вещества в контрольном створе; $C_{ст}$ – начальная концентрация контролируемого вещества в очищенной неразбавленной сточной воде; ПДК_{р/х} – предельно-допустимая концентрация водоёмов рыбохозяйственного назначения.

при скорости течения в среднем 0,05 м/с, что связано, в первую очередь с высоким содержанием растворенного кислорода в толще воды, 9–11 мг O₂/л, способностью водоёма к самоочищению и перемешиванием больших потоков водных масс, а как следствие с достаточно высокой техноёмкостью рассматриваемой водной экосистемы [Gray, 2005, Lin, 2007]. При следующих исследованиях будет определяться, какая доля вещества изменится за счет биохимического окисления, а какая доля – за счет разбавления потоками воды.

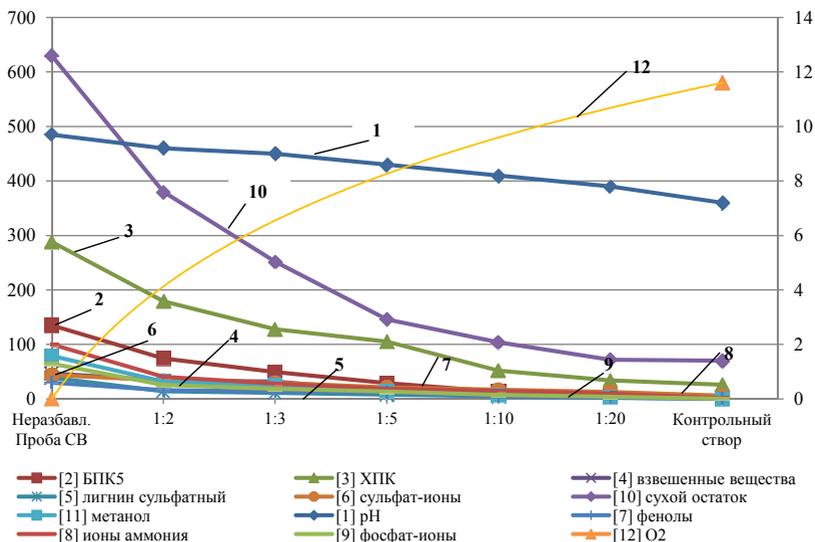


Рис. 3. Модельное разбавление загрязняющих соединений неочищенной сточной воды природной водой в 2, 3, 5, 10 и 20 раз

Fig. 3. Model dilution of polluting compounds of treated wastewater with natural water by 2, 3, 5, 10 and 20 times

Общее расчетное время трансформации загрязняющих веществ от места выпуска до контрольного створа при имитации разбавления составило 3 ч 40 мин (220 мин, 0,15 сут), в среднем, для каждого вещества.

Результаты моделирования процессов трансформации загрязняющих веществ показывают, что на качество воды влияет водообмен озера, гидрометеорологические характеристики и уровень экологичности основного и вспомогательного производств, которые определяют природоёмкость целлюлозного завода [Granberg, 1996, Шишкин, 2020].

Параметры биохимического окисления щелочесодержащих сточных вод определяются в значительной степени с учетом влияния аккумулирующей ёмкости водоёма на скорость трансформации загрязняющего вещества и с учетом специфики нагрузки [Russell, 2006].

Заключение. В соответствии с поставленными задачами обоснован перечень показателей соизмеримости качества сбрасываемых стоков целлюлозно-бумажной промышленности – БПК₅, ХПК, лигнин сульфатный, ме-

танол, фенолы, взвешенные вещества для достижения технологических параметров природоёмкости производства. На уровне НДТ параметры природоёмкости производства связаны взаимоподдерживающими потоками вещества, энергии и информации, в рамках которых достигается нормативное соотношение между природным и производственным потенциалом ($K_{\text{соизм}}$). Коэффициент соизмеримости $K_{\text{соизм}}$ может рассматриваться как согласительный буфер между количественными лимитами показателей природоёмкости целлюлозного производства и техноёмкости рассматриваемой экосистемы.

Для исследуемого объекта определены коэффициенты биохимического окисления k_1 органического вещества щелочесодержащих сточных вод целлюлозного завода без очистки и после очистки. Установлено, что скорость биохимического окисления органических соединений выше при окислении загрязняющих веществ, сбрасываемых без очистки, и находится в пределах 14–21 сут⁻¹. Для очищенных стоков согласно расчетам скорость окисления имеет значения 2–4 сут⁻¹ для легкоокисляемых соединений, для трудноокисляемых до 11 сут⁻¹.

Проведено модельное разбавление очищенных и неочищенных сточных вод природной водой с целью имитации зон начального и основного разбавления, определены кратности начального разбавления для всех исследуемых показателей от места глубинного рассеивающего выпуска до контрольного створа.

С целью построения уточненной имитационной модели процессов биохимического окисления щелочесодержащих сточных вод целлюлозного завода продолжаются исследования трансформации органических соединений от места выпуска до контрольного створа для минимизации природоёмкости производства и достижения нормативного соотношения между природным и производственным потенциалом.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-90128.

Библиографический список

Базякина Н.А. Расчет константы скорости потребления кислорода при определении БПК сточной жидкости // Санитарная техника. 1933, № 2, С. 17–24.

Боголицын К.Г., Соболева Т.В., Гусакова М.А., Почтовалова А.С., Личутина Т.Ф. Научные основы эколого-аналитического контроля промышленных сточных вод ЦБП. Екатеринбург, 2010, С. 60–108.

Вавилин В.А. О моделях биохимического окисления органических веществ в водоёмах // Водные ресурсы. 1975. No. 4. С. 160–164

Гусакова М.А., Бровко О.С., Константинова С.А., Христофорова Г.И. Оптимизация системы контроля и мониторинга загрязняющих веществ в стоках целлюлозно-бумажной промышленности // Наилучшие доступные технологии. Определение маркерных веществ в различных отраслях промышленности: сб. статей 3. М.: Перо. 2015, С. 35–66.

Дружинин Н.И., Шишкин А.И. Математическое моделирование и прогнозирование загрязнения поверхностных вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 329 с.

Личутина Т.Ф., Боголицын К.Г., Гусакова М.А. Комплексная оценка негативного воздействия на окружающую среду предприятий ЦБП в соответствии с технологическими нормативами Европейского сообщества // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2011. № 8. С. 52–62.

Шишкин А.И., Строганова М.С., Антонов И.В. Нормирование нагрузки при сбросе стоков ЦБП на трансграничном участке реки Вуокса // Вестник СПбГУПТД. Серия 1: Естественные и технические науки. 2019. № 2. С. 88–93.

Шишкин А.И., Строганова М.С., Антонов И.В., Адылова А.Ж. Повышение уровня экологичности целлюлозного природно-производственного комплекса для обеспечения норм допустимых сбросов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 232. С. 208–232.

Camp T.K. Water and its impurities. Boston, Massachusetts, 1963. 355 p.

Granberg K. The impact of effluents of Pitkäranta pulp mill on the water quality of Lake Ladoga: a model study, 1996. No. 322(1-3). P. 159–166.

Gray N.F. Water Technology: An Introduction for Environmental Scientists and Engineers (2nd ed.), Elsevier Science & Technology Books, Amsterdam, The Netherlands, 2005. 623 p.

Hewitt J., Hunter J.V. Lockwood D. A multi order approach to BOD kinetics // Water Resources. 1979. No. 13. P. 325–329

Lin S.D. Water and Wastewater Calculations Manual, (2nd Edition), McGraw-Hill Companies, New York, USA, 2007. 913 p.

Russell D.L. Practical Wastewater Treatment // David L. Russell. – Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, 2006. XIV. 271 p.

Shishkin A., Chusov A., Stroganova M., Kushnerov A. Combined technology of field research and modeling in the development of the rationing method pulp mill wastewater in the conditions of deep water outlets // Journal of Physics: Conference Series. 2020. P. 1614.

Stroganova M.S., Shishkin A. I. Efficiency of treatment facilities assessment of the pulp mill // Dialogue of Cultures: Proceedings of the XIII Interuniversity Scientific and Practical Conference with International Participation in 2020 – in English. St. Petersburg: HSTE SPb SUTD. 2020. Part I. P. 93–97.

References

Bazyakina N.A. Calculation of the oxygen consumption rate constant when determining the BOD of a waste liquid. *Sanitary equipment*, 1933, no. 2, pp. 17–24. (In Russ.)

Bogolitsyn K.G., Soboleva T. V., Gusakova M.A., Pochtovalova A.S., Lichutina T.F. Scientific bases of ecological and analytical control of industrial wastewater of the pulp and paper mill. Yekaterinburg, 2010, pp. 60–108. (In Russ.)

Camp T.K. Water and it is impurity. Boston, Massachusetts, 1963. 355 с.

Druzhinin N.I., Shishkin A.I. Mathematical modeling and forecasting of land surface water pollution. L.: Gidrometeoizdat, 1989. 329 p. (In Russ.)

Granberg K. The impact of effluents of Pitkäranta pulp mill on the water quality of Lake Ladoga: a model study, 1996, no. 322(1-3), pp. 159–166.

Gray N.F. Water Technology: An Introduction for Environmental Scientists and Engineers (2nd Edition), Elsevier Science & Technology Books, Amsterdam, The Netherlands, 2005. 623 p.

Gusakova M.A., Brovko O.S., Konstantinova S.A., Khristoforova G.I. Optimization of the system of control and monitoring of pollutants in the effluents of the pulp and paper industry. *Best available technologies. Determination of marker substances in various industries.* Collection of articles 3. M.: Pero, 2015, pp. 35–66. (In Russ.)

Hewitt J., Hunter J.V., Lockwood D. A multi order approach to BOD kinetics. *Water Resources*, 1979, no. 13, pp. 325–329.

Lichutina T.F., Bogolitsyn K.G., Gusakova M. A. Complex assessment of the negative impact on the environment of pulp and paper mill enterprises in accordance with the technological standards of the European Community. *Pulp. Paper. Cardboard*, 2011, no. 8, pp. 52–62. (In Russ.)

Lin S.D. Water and Wastewater Calculations Manual (2nd Edition), McGraw-Hill Companies, New York, USA, 2007. 913 p.

Russell D.L. Practical Wastewater Treatment. *David L. Russell. – Hoboken, N.J.:* Wiley-Interscience, 2006, XIV. 271 p.

Shishkin A., Chusov A., Stroganova M., Kushnerov A. Combined technology of field research and modeling in the development of the rationing method of pulp mill wastewater in the conditions of deep water outlets. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, p. 1614.

Shishkin A.I., Stroganova M.S., Antonov I.V. Load rationing in the discharge of CBP effluents on the transboundary section of the Vuoksa river. *Bulletin of SPbSUITD. Series 1: Natural and Technical Sciences*, 2019, no. 2, pp. 88–93. (In Russ.)

Shishkin A.I., Stroganova M.S., Antonov I.V., Adylova A.Zh. Increasing the level of environmental friendliness of the cellulose natural production complex to ensure the norms of permissible discharges. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnickeskoj Akademii*, 2020, is, 232, pp. 208–232. (In Russ.)

Stroganova M.S., Shishkin A.I. Efficiency of treatment facilities assessment of the pulp mill. *Dialogue of Cultures: Proceedings of the XIII Interuniversity Scientific and Practical Conference with International Participation in 2020 – in English.* St. Petersburg: SPb HSTE SUITD, 2020, part I, pp. 93–97.

Vavilin V.A. On models of biochemical oxidation of organic substances in water bodies. *Water Resources*, 1975, no. 4, pp. 160–164. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 30.03.2021

Шишкин А.И., Строганова М.С. Идентификация показателей соизмеримости качества сбрасываемых очищенных стоков ЦБП с технологическими параметрами природоёмкости производства // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Вып. 235. С. 256–269. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235.256-269

В соответствии с изменением природоохранного законодательства проблема минимизации природоёмкости сульфат-целлюлозного производства, влияющего на экосистему озера, неразрывно связана с изучением вопроса трансформации и превращения загрязняющих веществ в воде с учетом гидрологических характеристик водоема. Природоёмкость целлюлозного производства определяется следующими показателями: количество и качество используемого сырья – древесина, щепа, химические реагенты, вода; технологический процесс производства целлюлозы, бумаги, картона, побочных продуктов – скипидар, талловое масло; эффективность систем очистки сбросов и выбросов предприятия, а также применяемые природоохранные технологии по их управлению. Решались задачи снижения негативного воздействия сульфат-целлюлозного производства на водную экосистему. Совместно с лабораторией отдела охраны окружающей среды целлюлозного завода в летне-осенний период 2020 г. проведен ряд лабораторных исследований сточных вод разной степени очистки после варки разных марок целлюлозы с целью изменения показателей экологичности состава сточных вод ЦБП по критериям региональной экологической техноёмкости. Реализована модель исследования трансформации загрязняющих веществ очищенных и неочищенных сточных вод сульфат-целлюлозного производства при различных разбавлениях природной водой. Представлены целевые и репрезентативные показатели щелокосодержащих сточных вод с учетом наилучших доступных технологий (НДТ) в области производства целлюлозы. Проведены исследования параметров кинетики биохимического окисления при пяти кратностях разбавления водой, имитирующих зону начального и основного разбавления. Произведено соизмерение определяющих технологических характеристик производственно-территориального комплекса в рамках решения задачи эколого-технологического нормирования.

Ключевые слова: снижение природоёмкости, сульфат-целлюлозное производство, трансформация загрязняющих веществ, коэффициент биохимического окисления, модельное разбавление сточных вод.

Shishkin A.I., Stroganova M.S. Identification of comparability indicators of the pulp mill discharged treated effluents quality with the technological parameters of the production nature intensity. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2021, is. 235, pp. 256–269 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235.256-269

In accordance with the changes in environmental legislation the issue of minimizing the nature intensity of sulfate-pulp production, which affects the ecosystem of the lake, is inextricably linked with the study of the transformation and transformation of pollutants in the water, taking into account the hydrological characteristics of the reservoir. The natural intensity of pulp production is determined by the quantity and quality of the raw materials used – wood, wood chips, chemical reagents, water; the technological process of production of pulp, paper, cardboard, as well as by-products such as turpentine, tallow oil and efficiency and applied environmental technologies for the management of discharges, emissions and waste of production and consumption. The tasks of reducing the negative impact of sulfate-cellulose production on the aquatic ecosystem were solved. Together with the laboratory of the environmental protection department of the pulp mill, a number of laboratory studies of treated and untreated waste water after cooking of different grades of pulp were carried out in the summer-autumn period of 2020 in order to implement the procedure for rationing waste water of the pulp and paper mill according to the criteria of regional environmental technology intensity. A model is presented for studying the transformation of pollutants in treated and untreated wastewater from sulfate-pulp production at various dilutions with natural water. Target and representative indicators of alkaline-containing wastewater are presented, taking into account the best available technologies (BAT) in the field of pulp production. The parameters of the biochemical oxidation kinetics were studied at five water dilution multiplicities simulating the initial and main dilution zones. The main characteristics of the production and territorial complex were measured within the framework of the tasks of environmental rationing.

Keywords: reduction of nature intensity, sulfate-pulp production, transformation of pollutants, coefficient of biochemical oxidation, model dilution of wastewater.

ШИШКИН Александр Ильич – профессор Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, академик МАНЭБ, руководитель научно-педагогической школы «Прогнозирование и экологическое нормирование нагрузки на природные экосистемы» и лаборатории экологического нормирования г. Санкт-Петербург, Российская Федерация. Orcid ID 0000-0001-5767-2105, SPIN: 5278-1810.

E-mail: aishishkin@yandex.ru

SHISHKIN Alexander I. – professor, Higher school of technology and energy, Saint Petersburg state University industrial technology and design, academician of International Academy of Sciences of ecology human security and nature, head of the scientific-pedagogical school «Forecasting and environmental regulation pressures on natural ecosystems», and the laboratory of ecological standardization Saint Petersburg, Russian Federation. Orcid ID 0000-0001-5767-2105, SPIN: 5278-1810.

E-mail: aishishkin@yandex.ru

СТРОГАНОВА Мария Сергеевна – аспирант Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация. Orcid ID 0000-0002-0982-2356, SPIN: 5192-1725.

E-mail: masha199407@list.ru

STROGANOVA Mariia S. – PhD student, Higher school of technology and energy of the Saint Petersburg state University of industrial technologies and design, Saint Petersburg, Russian Federation. Orcid ID 0000-0002-0982-2356, SPIN: 5192-1725.

E-mail: masha199407@list.ru